

# Utjecaj klimatskih promjena na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju

---

**Tabain, Zrinka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:282928>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-15**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Zrinka Tabain**

7302/PT

**UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA KVALITETU  
VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet: Tehnologija vode**

**Mentor: doc. dr. sc. Josip Ćurko**

**Zagreb, 2021.**

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA****Završni rad**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo**  
**Laboratorij za tehnologiju vode**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**  
**Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija**

**Utjecaj klimatskih promjena na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju**

**Zrinka Tabain, 0058209501**

**Sažetak:**

Klimatske promjene imaju značajan utjecaj na sve aspekte ljudskog života, no povećanje temperature te učestalije vremenske nepogode poput suša, poplava i obilnijih padalina imat će velik utjecaj na izvore vode za ljudsku potrošnju i njenu kvalitetu. Takve promjene mogu imati utjecaj na pH-vrijednosti, rast potencijalno štetnih algi, povećano otjecanje onečišćivača u površinske i podzemne vode te povećane razine organske tvari u vodi. Ovi parametri su zavisni jedni o drugima i neki od njih mogu bit opasni za ljudsko zdravlje poput toksina algi, nusprodukta dezinfekcije te onečišćivača poput pesticida i metala. Zbog očekivanih negativnih utjecaja koji su uzrokovani klimatskim promjenama za očekivati je da bi moglo doći do izmijene dosadašnjeg sastava površinskih voda, stoga je nužno prilagoditi procese obrade kako bi se dobila zdravstveno ispravna voda za piće.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, kvaliteta vode, voda za ljudsku potrošnju

**Rad sadrži:** 24 stranice, 3 slike, 61 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** doc. dr. sc. Josip Ćurko

**Pomoć pri izradi:**

**Datum obrane:** 16. rujna 2021.

**BASIC DOCUMENTATION CARD****Bachelor thesis**

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**University undergraduate study Food Technology**

**Department of Food Engineering**  
**Laboratory for Water Technology**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**  
**Scientific field: Food Technology**

**Impacts of climate change on quality of water for human consumption**

**Zrinka Tabain, 0058209501**

**Abstract:**

Climate change is affecting all aspects of our lives, but rising temperatures and more frequent and intense weather extremes such as droughts, floods, and rainfall will have significant impacts on drinking water sources and overall water quality. The effects of changes in pH, the growth of potentially harmful algal blooms, increased runoff of pollutants to surface and groundwater, and increased concentrations of organic matter all impact water treatment methods and processes. The above parameters are all interdependent and some of them could be harmful to humans, such as toxic algal blooms, disinfectant byproducts, and pollutants such as metals or pesticides. There is a need to adapt water treatment to the possible change in water composition due to climate change.

**Keywords:** climate change, water, water quality

**Thesis contains:** 24 pages, 3 figures, 61 references

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** PhD Josip Ćurko, Assistant professor

**Technical support and assistance:**

**Defence date:** September 16<sup>th</sup> 2021

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Parametri kvalitete vode na koje negativno utječu klimatske promjene .....	2
2.1. Temperatura površinskih voda .....	2
2.3. pH-vrijednosti površinskih voda.....	4
2.4. Otopljeni kisik.....	6
2.5. Prirodna organska tvar.....	7
2.6. Mikroorganizmi.....	8
2.7. Onečišćivači.....	11
2.8. Nusprodukti dezinfekcije.....	13
3. Pregled stanja u Hrvatskoj.....	15
4. Zaključak.....	17
5. Literatura.....	18

## 1. Uvod

Voda je jedan od najvažnijih spojeva na svijetu, ključna za čovjeka i živi svijet. Voda je dio čovjeka i njegove svakodnevne, ona pokriva preko dvije trećine Zemljine površine, od koje većinu čine oceani, a tek 2,5% je slatka voda (Hu i sur., 2018). Nedostatak pitke vode postaje jedan od najvažnijih izazova današnjice. Na svu vodu na planeti mogu negativno utjecati klimatske promjene, a one se prema Međunarodnom panelu za klimatske promjene (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), odnose na promjenu stanja klime koja se može identificirati (npr. pomoću statističkih testova) promjenama u srednjoj vrijednosti i/ili varijabilnosti njezinih svojstava i koja traje dulje razdoblje, obično desetljeća ili više. Odnose se na bilo koju promjenu klime tijekom vremena, bilo zbog prirodne varijabilnosti ili kao posljedice ljudske aktivnosti. S druge strane klimatske promjene prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) definiramo kao „promjena klime koja se pripisuje direktnom ili indirektnom djelovanju čovjeka koje mijenja sastav globalne atmosfere i koja je, pored prirodnih klimatskih varijabilnosti, promatrana tijekom usporedivih razdoblja“ (UNFCCC, 2011).

Neke od glavnih posljedica klimatskih promjena su ekstremniji vremenski uvjeti poput suša, poplava te intenzivnijih i učestalijih oborina, te kao najuočljivije posljedice će biti upravo pojačane oborine, sve više dana i noći s povišenim temperaturama te češće vremenske nepogode.

Cilj ovog rada je sažeti neke od utjecaja klimatskih promjena na vodu koja se koristi kao izvor vode za ljudsku potrošnju, te identificirati potencijalne probleme koji mogu nastati prilikom obrade sirove vode u vodu za piće. Fokus je na parametrima kvalitete vode: temperatura, pH, otopljeni kisik, nusproizvodi dezinfekcije, organska tvar, mikroorganizmi te onečišćenje u vodi, primarno rijekama, jezerima i oceanima.

## **2. Parametri kvalitete vode na koje negativno utječu klimatske promjene**

Voda za piće se može dobiti iz više izvora. Oni mogu biti podzemne vode ili površinske vode poput rijeka i jezera, te mora i oceana. S obzirom na njihov sastav i potencijalna onečišćenja, voda iz različitih izvora mora biti obrađena kako bi zadovoljila kriterije zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju, a morska voda zahtjeva posebnu pozornost radi potrebnog procesa desalinizacije. Parametri koji će u ovom radu biti obrađeni su samo neki od onih koji su isto tako podložni negativnom utjecaju klimatskih promjena. Klimatske promjene utječu na ciklus vode u prirodi. Predviđa se da će povećanje temperature vode uključujući poplave i suše utjecati na kvalitetu površinske vode te potencijalno negativno utjecati ne samo na ljudsko zdravlje već i na ekosustav (European Commission i Directorate-General for Research and Innovation, 2011). Primjerice temperature vode za piće prema Pravilniku (2017) ne smije prelaziti 25°C, pH-vrijednost vode za piće je između 6,5 i 9,5. Ukoliko ove vrijednosti budu više ili niže od navedenih, to može ukazivati na neželjeno cvjetanje algi, te imati posljedice na ekosustav (Fondriest Environmental, Inc., 2014).

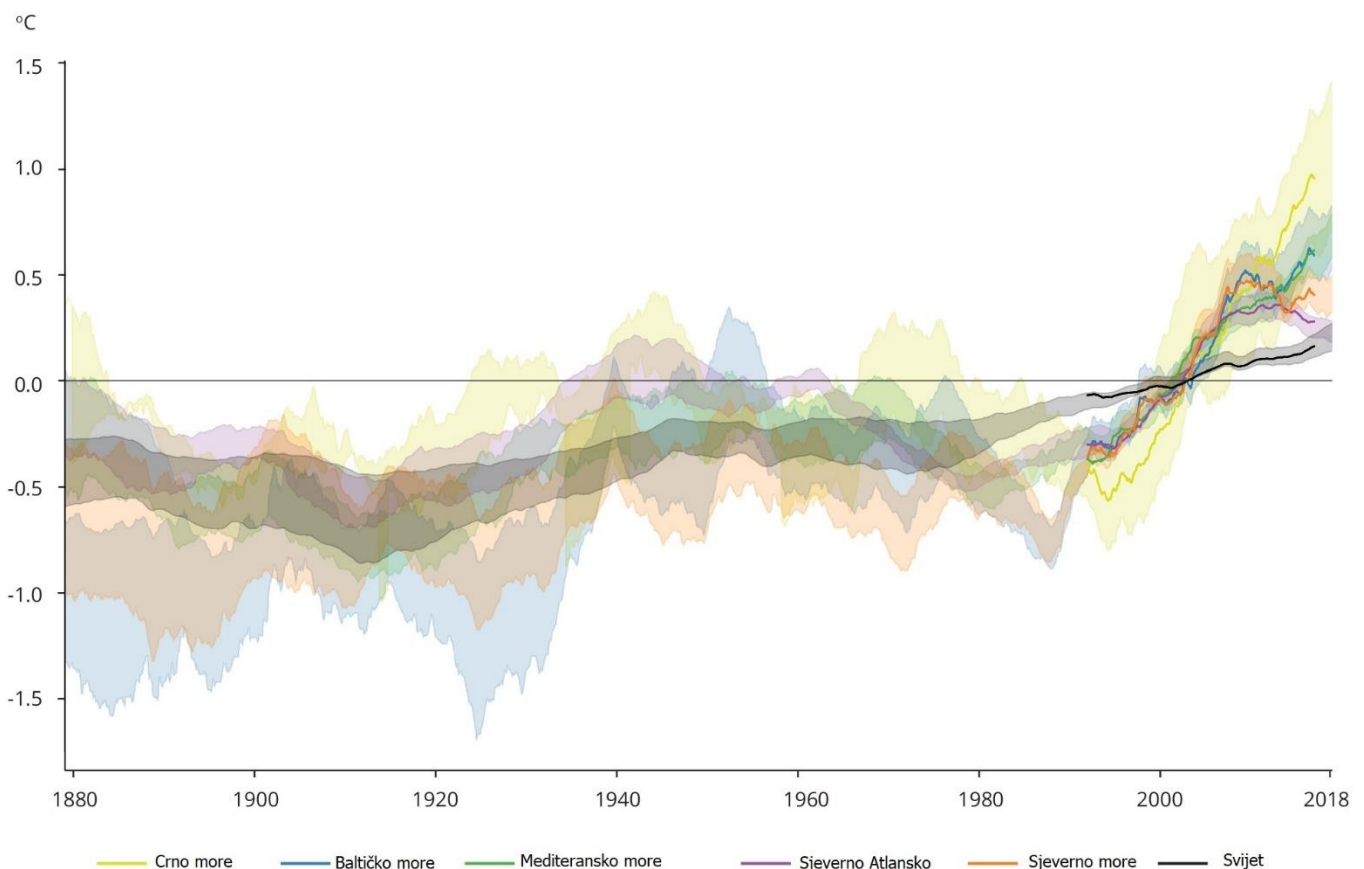
### **2.1. Temperatura površinskih voda**

Temperatura je jedan od glavnih faktora koji utječe na većinu fizikalno-kemijskih ravnoteža te bioloških reakcija. Porast temperature negativno utječe na većinu parametra kvalitete vode, ona utječe na razinu pH, otopljeni kisik, otopljeni organski ugljik (engl. dissolved organic carbon - DOC), onečišćivače poput pesticida, metala i farmaceutika, te na biološke parametre poput algi i patogena, te mnoge druge. Posljedično, temperaturni porast vode može pogodovati reakcijama degradacije, evaporacije i topljivosti, što povećava koncentraciju otopljenih tvari, a smanjuje količinu otopljenih plinova u vodi (Delpla i sur., 2009). Također, temperatura vode za ljudsku potrošnju nakon obrade i puštanja u vodoopskrbni sustav prema Pravilniku (2017) ne smije prelaziti temperaturu od 25°C.

Korelacija temperature zraka i temperature vode jezera je linearna (Fukushima i sur., 2000), te će zagrijavanje značajno utjecati na jezera većih dubina radi njihovog kapaciteta skladištenja topline, radi čega se očekuje da će doći do porasta površinske temperature, a najveći porasti se očekuju u zimskim mjesecima (George i sur., 2007).

Prema Jenkins i sur. (2010) klima Velike Britanije će iskusiti više temperature, češće i jače ekstremne vremenske uvijete te promjenjive obrasce padalina. Radi se o vrijednostima srednjih temperatura od 2 do 4 °C u kontekstu predikcija za 2080. godine. Primjer takvih uvjeta očit je u slijevu Meuse gdje je temperatura rijeka u prosjeku narasla za 2°C za vrijeme suše 2003. godine, te je taj, naizgled mali temperaturni porast doveo do značajnog pada topljivosti kisika u vodi (van Vliet i Zwolsman, 2008), o kojem će biti više riječ kasnije. Primjer utjecaja porasta temperature na biološke parametre je prikazan u istraživanju van Vliet i Zwolsman (2008) gdje je porast temperature pogodovao cvjetanju algi što je u bio glavni uzrok pogoršanja kvalitete površinske vode.

Još jedan od problema uzorkovanih porastom temperatura je povećanje transporta onečišćivača, poput amonijaka, žive, pesticida itd., iz površinskih i otpadnih voda u atmosferu (Bates i sur., 2008).



Slika 1. Prikaz globalne i regionalne temperature površine mora do 2018 godine (preuzeto i prilagođeno sa EEA, 2021a)

Jedan od utjecaja klimatskih promjena je povećanje temperature površine mora (slika 1) koja doživljavaju zagrijavanje kao i rijeke i jezera. To utječe na metabolizam, distribuciju i fenologiju



vrsta, a mnoge su morske vrste i staništa vrlo osjetljivi na promjene u temperaturi površina mora. Povećanje prosječne temperature morske površine također može dovesti do povećanja atmosferske vodene pare iznad oceana, utječući na vremenske prognoze (EEA, 2021a).

## **2.2. pH-vrijednost površinskih voda**

Opće je poznato da je pH-vrijednost opisana kao negativni logaritam koncentracije vodikovih iona u nekoj otopini, te se iskazuje na skali od 0 do 14 čime ukazuje razinu kiselosti odnosno lužnatosti zadane otopine. Prema SZO (Svjetska zdravstvena organizacija, 2007) voda za ljudsku potrošnju je obično pH-vrijednosti od 6,5 do 9,5, no da bi se što uspješnije mogla tretirati odnosno dezinficirati klorom, idealna je pH-vrijednost manja od 8,0. Isto tako je objašnjeno da se utjecaj razine pH vode za piće na zdravlje ne može direktno odrediti, međutim pH vode za piće može utjecati na efektivnost dezinfekcije vode te na koroziju metala vodovoda i cijevi i time indirektno utjecati na zdravlje.

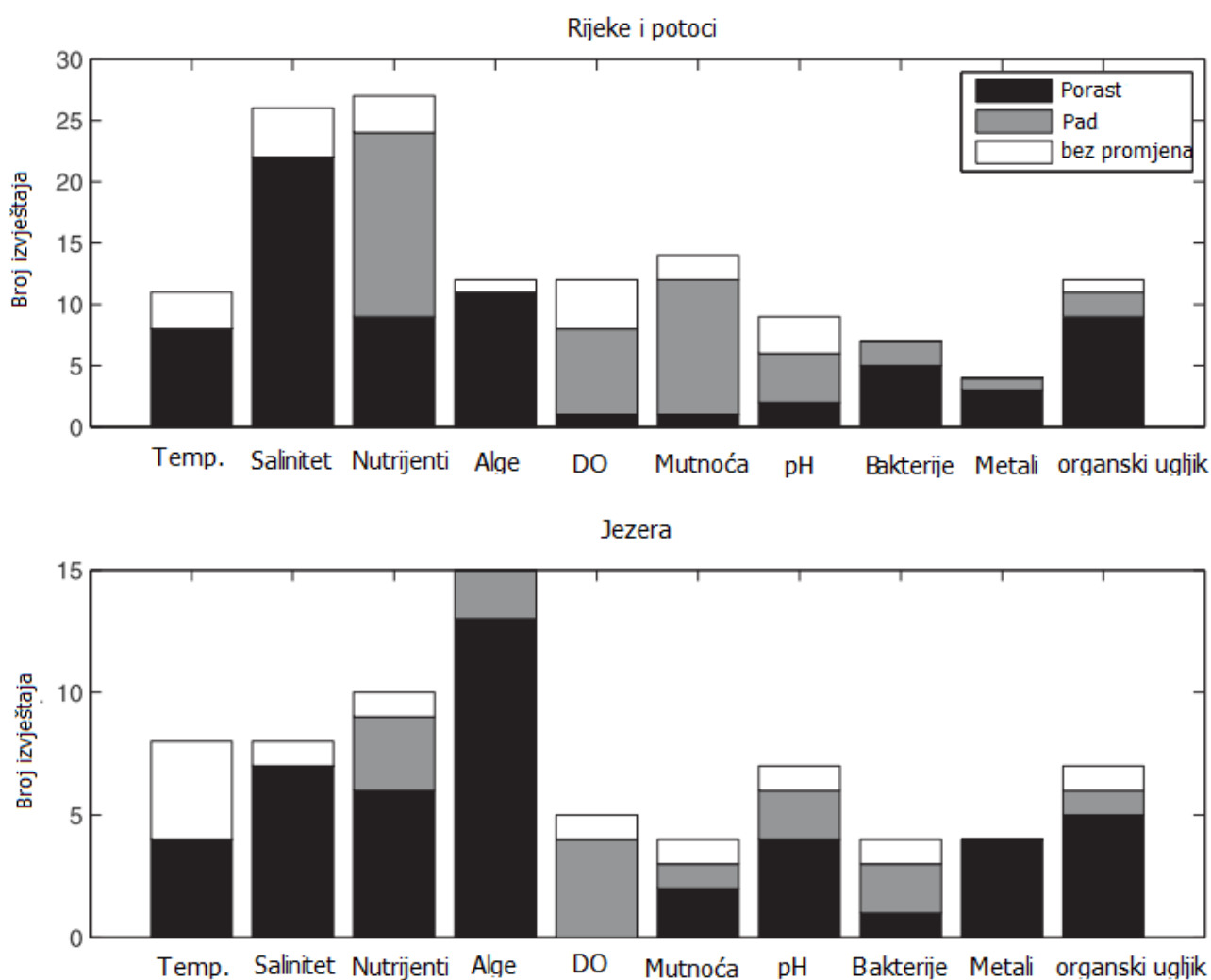
No uz visoke temperature zaista dolazi i do sniženja pH, odnosno voda postaje kiseliya. U kontekstu klimatskih promjena često se spominje zakiseljavanje oceana, do čega dolazi pri porastu koncentracije CO<sub>2</sub> u oceanima. CO<sub>2</sub> je prirodni dio oceana, kao i atmosfere, i njegovo kruženje u prirodi je važno, no promjene u temperaturama su samo jedan od faktora koji utječu na povećanje njegove razine u oceanima. Povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> utječe na smanjenje razine pH u oceanima što može dovesti do poremećaja u morskom ekosustavu što za posljedicu može imati nestajanje vrsta i koraljnih grebena, povećanje mortaliteta riba te posljedično velik negativan utjecaj na život čovjeka (Blašković, 2013).

Suše, kao jedne od posljedica klimatskih promjena imaju utjecaj i na pH-vrijednosti vode (Mosley, 2015) što ukazuje na različite trendove razine pH za vrijeme suša rijeka i jezera. Kod rijeka prevladava pad pH-vrijednosti, dok je kod jezera zapažena veća razina porasta pH-vrijednosti (slika 2).

Međutim, prema istraživanju van Vliet i Zwolsman (2008) u ljetnim mjesecima kao posljedica suše, pH vode (rijeke) je značajno porastao, što ukazuje na smanjenje koncentracije otopljenog CO<sub>2</sub>, što može biti uvjetovano porastom temperature radi čega se topivost plinova smanjuje.

Jedan od faktora koji utječe na pH slatkovodnih sustava, je temperatura odnosno porast temperature koji dovodi do cvjetanja algi. To uzrokuje porast razine CO<sub>2</sub> koji onda uzrokuje

otpuštanje OH<sup>-</sup> iona radi ravnoteže bikarbonata u vodi. Nadalje, pH može porasti radi produljenja sezone rasta fitoplanktona te povećane erozije radi koje se povećava razina kationa u vodi čime raste njena lužnatost. Ovime se vidi da klimatske promjene indirektno utječu odnosno suzbijaju zakiseljavanje slatke vode (Mujere i Moyce, 2017).



Slika 2. Promjene parametara vode u rijekama i jezerima (preuzeto i prilagođeno iz Mosley, 2015)

U svom radu Mosley (2015) je istraživao utjecaj suša na kvalitetu vode rijeka i jezera, promatrajući parametre vidljive na slici 2. Općenito za većinu parametara se porast koncentracije smatra štetnim, no jedina iznimka u ovom kontekstu su pH-vrijednosti i koncentracija otopljenog kisika (engl. dissolved oxygen - DO) gdje se njihov pad smatra izrazito štetnim. Značajniji temperaturni porast je zabilježen u rijekama naspram jezera, dok su alge

značajno porasle u jezerima u usporedbi s njihovim porastom u rijekama. Posebice je zabilježen rast bentonskih algi, koje rastu na ili pri dnu rijeka, za koje se smatra da su u porastu radi olakšanog prodora svjetla do dna rijeke. Razina otopljenog kisika u rijekama nema jasan trend, no kod jezera su zabilježeni. Prema rezultatima (slika 2) bi stoga mogli zaključiti da je porast temperature najviše utjecao na rast algi.

### **2.3. Otopljeni kisik**

Otopljeni kisik (engl. dissolved oxygen - DO) je količina kisika prisutna u vodi. Voda prima kisik iz atmosfere i iz vodenih biljaka, a voda poput one u brzom potoku, otapa više kisika od mirne vode u jezeru. Niska razina kisika (hipoksija) ili odsutnost kisika (anoksija) može nastati kada mikroorganizmi razgrade višak organskih tvari, što se dogodi kod velikog cvjetanja algi. Tijekom procesa raspadanja organske tvari DO se smanjuje u vodi. Niska razina kisika često se javlja na dnu vodenog stupca i utječe na organizme koji žive u sedimentima. DO se smatra važnim parametrom kvalitete vode jer je izravan pokazatelj sposobnosti vodenih resursa da podupiru život u vodi (EPA, 2021a).

Prethodno spomenuta korelacija porasta temperature i pada koncentracije otopljenih plinova u vodi (Delpla i sur., 2009) je izrazito bitna za razine otopljenog kisika u vodi. Njegova koncentracija se smanjuje do 10% za povećanje temperature od 3°C (DO=10mg/L pri 15°C). Uzevši u obzir bilo koji IPCC scenarij, prosječna temperatura zraka se očekuje da će porasti za od 1,8 do 4,0°C. Nadalje, očekuje se i trend suših ljetnih perioda, posebice u suptropskim područjima, uz vjerojatnost ekstremnijih vremenskih uvjeta (Bates i sur., 2008). Porast temperature vode uzrokuje značajan pad razine otopljenog kisika (van Vliet i Zwolsman, 2008). Uz porast temperature na smanjenje koncentracije otopljenog kisika u vodi još utječu i veći raspad organske tvari te sušama induciran slabiji tok rijeka koje za posljedicu mogu imati niže razine aeracije (Mimikou i sur., 2000).

Porast temperatura površinskih voda će utjecati na razdjeljivanje plinova tako da smanjuje razinu otopljenog kisika i potencijalno stvara uvjete pogodne za cvjetanje algi s višim temperaturama i smanjenim miješanjem slojeva vode jezera (Ritson i sur., 2014).

Koncentracija otopljenog kisika je direktan rezultat temperaturnog porasta i učinak povećane respiracije što je ili direktna posljedica porasta temperature ili porasta koncentracije nutrijenata. Povećane razine biološke respiracije će rezultirati nižim koncentracijama

otopljenog kisika, posebice u ljetnim perioda „slabijeg toka“ i u najdubljim slojevima jezera (Mujere i Moyce, 2017). U istraživanju Hrdinka i sur. (2012), pad koncentracije otopljenog kisika nije bio značajan u odnosu na pretpostavku da zagrijavanje vode i njeno onečišćenje organskim tvarima uzrokuje smanjene koncentracije kisika tijekom suša površinskih voda (van Vliet i Zwolsman, 2008; Hrdinka i sur., 2012). S obzirom da se u rezultatima pokazalo da promjene u klorofilu-A nisu bile promijenjene, smatra se da je pad koncentracije kisika bila samo kao posljedica povišene temperature.

U istraživanju Zwolsman i van Bokhoven (2007) ustvrđen je linearan odnos (koja odražava temperaturnu ovisnost o topljivosti otopljenog kisika) koji se može koristiti za procjenu utjecaja povećanja temperature vode na koncentraciju otopljenog kisika.

## **2.4. Prirodna organska tvar**

Prirodna organska tvar (engl. natural organic matter - NOM) je kompleksna matrica organskog materijala i nalazi se u tlu, vodi i sedimentima, te je naročito prisutna u površinskim vodama (Sillanpää, 2015), a nastaje raspadom biljnih i animalnih ostataka te mikroorganizama poput bakterija (Aoyagi i Saito, 2015). Organske tvari se razlikuju po strukturi, molekulskoj masi te mogu biti hidrofobne ili hidrofilne i imati pozitivan ili negativan naboj. Zavisno o podrijetlu može ih se podijeliti na alohtone spojeve koji potječu iz uzvodnog dijela vode ili iz tla, i na autohtone spojeve koji nastaju u vodi. Uglavnom organske tvari čine hidrofobne kiseline odnosno humusne tvari (sastoje se od fulvinske kiseline i huminske tvari) koje su glavni uzrok замуćenja vode (Burić, 2021; Parsons i sur., 2004). NOM ne samo da uzrokuje neželjen miris, boju te okus vode, njegovo uklanjanje isto tako predstavlja problem jer je organska tvar prekursor za stvaranje potencijalno kancerogenih nusprodukata dezinfekcije (Parsons i sur., 2004) poput trihalometana (Valdivia-Garcia i sur., 2019; Dayarathne i sur., 2020).

Uz pojam NOM, često se u literaturi pojavljuje i pojam otopljeni organski ugljik koji je definiran kao potpuna količina spojeva sa organskim ugljikom koji mogu proći kroz filter od 0,45 µm i ugljikovodična je komponenta otopljene organske tvari (engl. dissolved organic matter - DOM) (Ritson i sur., 2014), a ujedno je i indikator prirodne organske tvari (Cool i sur., 2019). Otopljena organska tvar (DOM) utječe na funkcioniranje vodenog ekosustava radi svog utjecaja na kiselost, mogućnost transporta metala, apsorbanciju svjetla te opskrbu hranjivim tvarima (Evans i sur., 2005).

Od kraja prošlog stoljeća, brojna istraživanja dokazuju značajan porast koncentracije DOC u sjevernoj i centralnoj Europi te Sjevernoj Americi, a nagađa se da su uzročnici tog trenda povišene temperature zraka, obilnije padaline, porast koncentracije atmosferskog CO<sub>2</sub> te smanjenje taloženja kiselina, iako nema znanstvenog konsenzusa (Delpla i sur., 2009).

Postojeća istraživanja ukazuju da prilikom uobičajene količine padalina za vrijeme ljetnih mjeseci, sljevovi ne izazivaju veće „ispiranje“ DOM na jesen. Sukladno tome, budući klimatski scenariji sa sušnijim ljetima i vlažnim zimama bi stoga sugerirali veću sezonalnost u sljevovima, a i veće protoke DOM-a u jesen (Ritson i sur., 2014). Tijekom suša doći će do prvotnog smanjenja koncentracije DOM-a, no to je često popraćeno velikim „ispiranjem“ otopljene organske tvari prilikom ponovnog pada oborina nakon čega je DOM prisutan u povišenim koncentracijama (Evans i sur., 2005; Ritson i sur., 2014).

Jedan od parametara koji utječe na NOM je temperatura. Temperatura i vlaga sedimenta usko su povezani s mikrobnom aktivnošću, te se očekuje da će povećana temperatura rezultirati općenito visokom mikrobnom aktivnošću. Veća mikrobnost rezultira povećanim disanjem sedimenta organskog materijala, i time će porasti koncentracija otopljenog organskog ugljika (DOC) u tlu. Očekivane pojačane i intenzivnije oborine ispirat će DOC iz tla u površinske vode. Povećane razine DOC u vodi rezultirati će većim kapacitetom apsorpcije svjetlosti i posljedično višim temperaturama. Stoga ukoliko su visoke koncentracije DOC u vodi, doći će i do većeg zagrijavanja nego u vodama sa nižom razinom DOC, prilikom porasta temperatura zraka (Mujere i Moyce, 2017), što posljedično utječe na sve ostale parametre kvalitete vode.

Jedna od metoda uklanjanja organske tvari iz vode su membranski procesi, specifično ultrafiltracija (UF), nanofiltracija (NF) te reverzna osmoza (RO) koje uspješno uklanjaju organske tvari, no problem do kojeg može doći je stvaranje sloja na membrani koji ju čepi i time usporava ili blokira tok obrade (Dayarathne i sur., 2020). Začepljene membrane se mogu uspješno očistiti protustrujnim pranjem membrana ili upotrebom raznih kemijskih sredstava te se time uklanja nastali neželjeni sloj na membrani (Singh, 2015). Konvencionalne metode obrade vode membranskim procesima su se pokazale odličnima prilikom uklanjanja hidrofobnog organskog materijala, no vrlo slabo prilikom uklanjanja hidrofilnih molekula (Parsons i sur., 2004)

Ukoliko se koristi obrada kemijskim taložnim sredstvima (flokulacija ili koagulacija), posebna pozornost se treba obratiti na pH procesa. Ukoliko je pH niži, smanjiti će se i naboj NOM čime on postaje manje topiv u vodi, te time se potencijalno smanjuje uspješnost procesa flokulacije,

primjerice optimalan pH za flokulaciju željezovim solima je između 4,5 i 6 (Dayarathne i sur., 2020). Još jedan parametra koji je bio predmet istraživanja odnosno njegov utjecaj na proces obrade vode flokulacijom je temperatura. Generalno možemo reći da povišena temperatura ubrzava reakcije koje se u vodi odvijaju, no prilikom koagulacije, povišena temperatura vode ne utječe značajno na efikasnost uklanjanja DOM iz vode, no povišena temperatura može pospješiti nastajanje nusprodukata dezinfekcije prilikom dezinfekcije vode (Ritson i sur., 2014). Promjene u količini NOM utječu na odabir procesa pročišćavanja vode, a kao najčešći i najisplativiji proces obrade vode su se pokazali koagulacija i flokulacija nakon kojih slijedi sedimentacija ili flotacija uz filtraciju (Sillanpää, 2015). Još samo neke od metoda uklanjanja NOM iz vode su; elektrokemijske metode, oksidacijski procesi (bazirani na ozonu ili UV zračenju), adsorpcija aktivnim ugljenom te ionska izmjena. Svaka od njih ima svoje prednostima i mane, te se zbog toga koristi optimalni procesi za dane uvjete. No kombinacija uklanjanja organske tvari koagulacijom prije filtracijom membranskim procesima smanjuje vjerojatnost čepjenja membrane (Burić, 2021).

## 2.5. Mikroorganizmi

Kada se govori o mikroorganizmima kao jednim od parametara kvalitete vode, najčešće spominjani su patogeni i cijanobakterije, a kao jedan od problema se navodi eutrofikacija odnosno cvjetanje algi. Voda za piće ne smije sadržavati patogene mikroorganizme (*Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* itd.) te se voda koja ih sadrži podvrgava postupcima dezinfekcije (Pravilnik, 2017; Mijatović i Matošić, 2020).

Eutrofikacija se prema Zakonu o vodama (2021) definira kao obogaćivanje vode hranjivim tvarima, spojevima dušika i/ili fosfora, koji uzrokuju ubrzani rast algi i viših oblika biljnih vrsta, te dovodi do neželjenog poremećaja ravnoteže organizama u vodi i promjene stanja voda. Posljedično dolazi i do manjka koncentracije otopljenog kisika (Bates i sur., 2008).

Cijanobakterije su poznate još kao i modro-zelene alge odnosno bakterije koje posjeduju klorofil A, provode fotosintezu te stvaraju kisik, a prisutne su u slatkim te morskim vodama (Garcia-Pichel, 2009). Rastu cijanobakterija pogoduju sporiji tok voda, povišene temperature i koncentracije nutrijenata, poput fosfora i dušika (CDC, 2018). Cijanobakterije dominiraju nad fitoplanktonima pri visokim temperaturama radi fizioloških (npr. brži rast) i fizikalnih faktora

(npr. pojačana stratifikacija), te pojedine vrste imaju različite temperaturne optimume. Značajno manje je poznato o utjecaju viših koncentracija CO<sub>2</sub> na cijanobakterije, iako postoje istraživanja koja sugeriraju da nekim rodovima cijanobakterija pogoduje rast pri nižim razinama koncentracije CO<sub>2</sub>. Interaktivni učinci procesa klimatskih promjena i eutrofikacije na HAB (engl. harmful algal blooms – štetno cvjetanje algi) su kompleksni, a trenutna saznanja ukazuju na vjerojatnost da će biti intenzivniji i učestaliji (Bates i sur., 2008; O'Neil i sur., 2012).

Cvjetanje algi se definira kao pojačan rast algi, te ono može varirati u bojama, a prepoznatljivo je po sloju na površini vode popraćeno nepoželjnim mirisom. Cvjetanje cijanobakterija cijanotoksinima može biti opasno po zdravlje, primjerice cijanotoksin Mikrocistin napada jetru, a Anatoksin te Saxitoksin napadaju živčani sustav sisavaca (CDC, 2018; O'Neil i sur., 2012), no bitno je napomenuti da nije cvjetanje svih algi toksično (Villacorte i sur., 2015). Do nastajanja HAB dolazi prilikom naglog, brzog rasta algi u vodi, tvoreći vidljivi sloj na površini vode, a mogu biti opasni za okoliš, biljke ili životinje. HAB mogu iscrpiti kisik te spriječiti dolazak sunčeve svjetlosti do organizama u vodi kojima je ona potrebna za život. HAB mogu nastati u slatkim i morskim vodama te u estuarijima (EEA, 2001b). Povišene temperature, uz povišene koncentracije fosfora u jezerima pogoduju cvjetanju algi koje posljedično pogoršavaju kvalitetu vode zbog nepoželjne boje, mirisa i okusa, te moguće toksičnosti za ljude i životinje (Bates i sur., 2008). Istraživanja ukazuju da su eutrofikacija i klimatske promjene dva procesa koji mogu potaknuti širenje cijanobakterijskog štetnog cvjetanja algi (O'Neil i sur., 2012).

Navedeni parametri u ovom radu djeluju jedni na druge, što možemo vidjeti iz toga što eutrofikacija odnosno povećanje koncentracije nutrijenata može izazvati pojačan rast algi i posljedično hipoksiju (smanjenu koncentraciju kisika) vode radi čega alge ostaju bez kisika i odumiru. Također, eutrofikacija može dovesti do proizvodnje CO<sub>2</sub> što dovodi do smanjena pH-vrijednosti odnosno povećanja kiselosti vode (NOAA, 2014.).

Kod suša, kao jednu od posljedica klimatskih promjena, prema istraživanju van Vliet i Zwolsman (2008), pokazali su da je pogoršanje kvalitete vode primarno uzrokovano povoljnim uvjetima za rast i cvjetanje algi, poput visokih temperatura, povećane koncentracije potrebnih nutrijenata te dužeg vremena zadržavanja. Na cvjetanje algi ukazuju i povećane razine pH i prezasićenje otopljenim kisikom čemu kod rijeke Meuse pogoduju navedeni faktori, dok kod drugih rijeka ti uvjeti nisu jednako učestali.

Kao posljedica ljetnih suša, značajan porast temperature dovodi do potencijalnog povećanja mikrobnosti, te porast koncentracije algi, (bromida i klora) u vodi koja se radi toga

mora podvrgnuti procesima flokulacije i filtracije te dezinfekcije kako bi voda za piće bila zdravstveno ispravna (Zwolsman i van Bokhoven, 2007).

Većina istraživanja pokazuje značajan porast koncentracije klorofila A i vrsta algi za vrijeme suša u jezerima (slika 2), a i zabilježen je porast prisutnih toksičnih cijanobakterija u vrijeme suša (Mosley, 2015). Tijekom ljetnih mjeseci kada dolazi do „slabijeg toka“ rijeka, a time i povećanja retencijskog vremena vode povećava se potencijal rasta algi (Whitehead i sur., 2009). Rast toksičkih algi će vjerojatno postati učestaliji kao posljedica klimatskih promjena (Bates i sur., 2008) .

Pogoršanje negativnih utjecaja klimatskih promjena na vodu je veće kada je početna kvaliteta vode loša. Iz istraživanja Zwolsman i van Bokhoven, (2007) vidljivo je da kada je rijeka netom prije suše već bila eutrofična, kao posljedica se dogodio značajan rast algi. Također, nekoliko godina kasnije ista ta rijeka je prije suše pokazala umjerene količine nutrijenata te je nakon suše koncentracija rasta algi bila značajno manja.

Patogeni mikroorganizmi koji se prenose vodom mogu se mogu dospjeti u površinske vode radi ispuštanja većih količina oborina u kanalizacijski sustav (Delpla i sur., 2009). Pojačan intenzitet oborina kao posljedica klimatskih promjena dodatno opterećuje postojeće kanalizacijske sustave, što može dovesti do poplava i prelijevanja kanalizacije (Nie i sur., 2009). Takvo prelijevanje kanalizacije kao posljedica jakih padalina, popraćeni povišenim temperaturama vode mogu dovesti do povećanja broja patogenih mikroorganizama u vodi, odnosno može doći do povećanog priljeva patogenih mikroorganizama u površinske vode (Mujere i Moyce, 2017).

Poplave često dovode do kontaminacije podzemnih voda i dodatnih izbijanja bolesti poput *Acanthamoeba keratitis* u Iowi u Sjedinjenim Američkim Državama 1994. godine (Hunter, 2003). Čak polovica epidemija bolesti koje se prenose vodom u Sjedinjenim Američkim Državama u protekloj polovici stoljeća su uslijedile nakon ekstremnih padalina (Delpla i sur., 2009). Također, uočene su statistički značajne korelacije između padalina i epidemija vodom prenosivih bolesti (Mujere i Moyce, 2017).

Porast temperature isto tako može ugroziti kvalitetu vode s obzirom na bolesti koje se prenose vodom poput kolere u Aziji i Južnoj Americi (Hunter, 2003). Poplave u zemljama u razvoju mogu povećati rizik od infekcija, a kod razvijenih zemalja Zapada to predstavlja problem ukoliko su ugroženi izvori vode (Hunter, 2003).

Radi bolesti (npr. dijareja) koje prouzrokuju patogeni mikroorganizmi koji se prenose vodom godišnje umire do pola milijuna ljudi (SZO, 2019). Tradicionalne metode zbrinjavanja patogena



u vodi uključuju tretiranje vode toplinom odnosno prokuhavanje vode u svrhu dezinfekcije, što iako odgovara kućnoj upotrebi, za veće količine vode nije isplativo. Uz zagrijavanje se još koriste i metode tretiranja ozonom, klorom te UV radijacijom (Antony i sur., 2012) te membranski procesi u svrhu filtracije (Ostarcevic i sur., 2018). Kao obećavajuća tehnologija pročišćavanja voda onečišćenim patogenim bakterijama, virusima i protozoama, prema radu Singh i sur. (2020) smatra se nanofiltracija (NF) radi njene visoke efikasnosti u uklanjanju patogena, izostanka nusprodukata dezinfekcije, te primjerice mogućnosti da se NF uklone viruse sa i viruse bez ovojnice bolje od drugih membranskih procesa. Iako su membranski procesi uspješni u pročišćavanju voda NF se preferira radi manje količinu uložene energije. Zbog veće veličine pora membrane, naspram RO, NF radi pod manjim tlakovima nego RO što nekim industrijama više odgovara (Shon i sur., 2013).

Brojne zemlje primjenjuju desalinizaciju radi manjka zaliha vode za piće, no prethodno objašnjeno cvjetanje algi, posebice u morima, može otežati uobičajene postupke desalinizacije vode reverznom osmozom radi toga što se membrane čepe. Takva povećana količina algi i biološke tvari uzrokuje probleme poput; produženog vremena obrade radi češćeg održavanja membrana, skuplje obrade zbog zamjena češće oštećenih membrana te skuplji operacijski troškovi radi viših troškova energije zbog rada pod većim tlakom. Ovi problemi su ukazali na potrebu pred tretmana vode koji mogu biti koagulacija, sedimentacija i pješčana filtracija. Ipak, dovoljna količina algi i dalje može proći do RO unatoč pred tretmanima vode, te čak i predložena povećana količina koagulanata dovodi do problema čepljenja filtara. Uspješno rješenje se pokazalo uključivanje DAF (engl. dissolved air flotation - flotacije otopljenim zrakom) sustava ispred filtara što omogućava uspješno korištenje veće količine koagulanata. Uz navedene procese, kao predtretman za RO se mogu uključiti i drugi membranski procesi poput ultrafiltracije (UF), mikrofiltracije (UF) te nanofiltracije (NF) kombinirani jedni sa drugim. Kada se koristi kombinacija MF/UF kao predtretman za obradu vode, očekuje se da će se problem kod cvjetanja algi, s česticama i organskim onečišćenjem pojaviti samo na membranama MF/UF, odnosno da neće doći do njihovog proboja do RO (Villacorte i sur., 2015).

## 2.6. Onečišćivači

Kao onečišćivače voda ovdje ćemo izdvojiti pesticide, metale te nusprodukte od korištenja lijekova. Navedene tvari je potrebno reducirati na prihvatljivu količinu odnosno ukloniti da bi odgovarala parametrima vode za ljudsku potrošnju.

Koncentracije metala u rijekama zapadne Europe su se značajno smanjile posljednjih desetljeća zahvaljujući pročišćavanju industrijskih i komunalnih otpadnih voda (Delpla i sur., 2009). Međutim, prema nekim istraživanjima suše mogu imati utjecaj na kvalitetu vode zavisno o svojstvima prisutnih spojeva, te imati pozitivni ili negativan učinak na kvalitetu vode (van Vliet i Zwolsman, 2008). Dugotrajni periodi suhog vremena uzrokuju „slabiji tok“ rijeka (EPA, 2020b), što pogoršava kvalitetu vode te se očituje: porastom temperature vode, eutrofikacijom, povećanjem koncentracija nekih metala i metaloida (nikal, barij i selenij) (van Vliet i Zwolsman, 2008). Nasuprot tome, jedan od pozitivnih utjecaja na kvalitetu vode je smanjenje koncentracije nitrata te nekih teških metala (olovo, krom, živa i kadmij) koji imaju visok afinitet za adsorpciju na suspendirane tvari (van Vliet i Zwolsman, 2008). Prema navedenom istraživanju negativni utjecaji eutrofikacije i povećanje koncentracije određenih metala su ipak imali generalno značajniji utjecaj naspram pozitivnog utjecaja smanjenja koncentracije teških metala za vrijeme suša. Zbog potencijalnog porasta temperature i učestalijih suša kao rezultata klimatskih promjena, očekuje se pogoršanje kvalitete vode, a time i ekološkog potencijala rijeka. Kod metala je bitno spomenuti i huminske kiseline, koje zbog svoje kompleksne strukture mogu na sebe vezati anorganska i organska onečišćenja poput metala, pri čemu nastaju kompleksi huminskih tvari i metala, te njihovo vezanje ima važnu ulogu u migraciji metala (Mijatović i Matošić, 2020).

S druge strane, poplave i pojačane padaline mogu dovesti do kontaminacije voda kemikalijama, teškim metalima ili drugim opasnim tvarima koje su već prisutne u okolišu, poput pesticida (Bates i sur., 2008). Površinske vode su glavni receptori za pesticide kao onečišćivače iz poljoprivrede (Delpla i sur., 2009). Pesticide smatramo spojevima sintetskog podrijetla, a utjecaj klimatskih promjena na „sudbinu“ pesticida je teško točno predvidjeti, jer pri ljetnim „slabijim tokovima“ rijeka značajno je smanjena mogućnost razrjeđenja čime dolazi do povećanja koncentracije pesticida u rijekama, ali pri visokim temperaturama raste i potencijal za razgradnju pesticida, čime se dolazi do suprotnog efekta na njihovu koncentraciju, a time i utjecaj na kvalitetu vode (Bloomfield i sur., 2006).

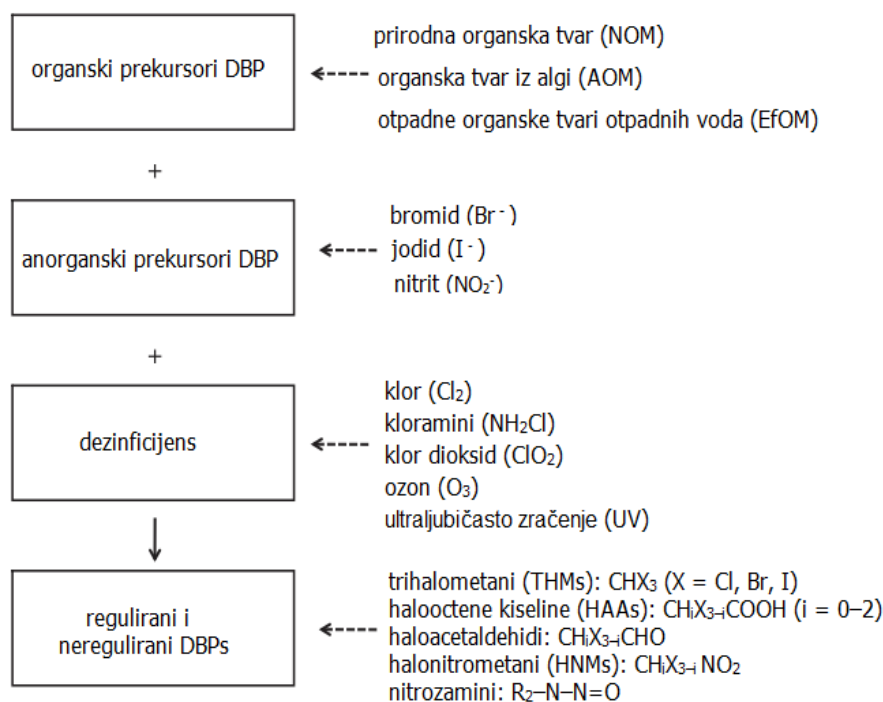
Prema istraživanju Saleh i sur. (2020) kombinacije više metoda obrade voda su se pokazale najuspješnijim metodama uklanjanja pesticida iz vode. Na primjeru herbicida atrazina najbolja kombinacija metoda se pokazala „nano-ZnO“ odnosno kombinacija specifičnog biološkog tretmana uz tretman ozonom i vodikovim peroksidom te procesom NF, gdje je učinkovitost bila 100%. Nešto manji učinak od 95% daje samostalan proces NF, no bitno je napomenuti da svaki pesticid zahtjeva drugačiji tretman radi svojih fizikalno-kemijskih svojstava te krivi tretman može dovesti do pojave toksičnih nusprodukata (Saleh i sur., 2020).

Kod metoda uklanjanja metala iz vode bitno je uzeti u obzir više faktora, poput pH-vrijednosti, početne koncentracije metala, financijske isplativosti i slično. Koriste se metode adsorpcije, membranskih procesa, kemijski te električni tretman i fotokataliza. Adsorpcija se pokazala najizglednijom metodom radi njene jednostavnosti, visoke efikasnosti te financijske isplativosti. Membranski procesi i kemijski tretmani su se s druge strane pokazali praktičniji no radi financijskog aspekta odnosno potrebe čestog čišćenja ili mijenjanja membrana može biti izazovan. Inhibicija stvaranja kamenca i obrastanja bi mogla dovesti do daljnjeg poboljšanja membranskih procesa (Qasem i sur. 2021).

## 2.7. Nusprodukti dezinfekcije

Jedno od najčešće spominjanih nusprodukata dezinfekcije (engl. disinfection by-products – DBP) su trihalometani (THM). Oni se u vodi za piće pojavljuju kao rezultat kloriranja organske tvari prisutne u neobrađenoj vodi (SZO, 2005; Cool i sur., 2019).

Trihalometani su halogenom supstituirani jednostruki ugljikovi spojevi općenite formule  $CHX_3$ , gdje X predstavlja halogeni element, koji može biti fluor, brom, klor, jod ili kombinacija navedenih (slika 3). THM koji se najčešće pojavljuje u vodi je u kombinaciji sa klorom ili bromom, primjerice kloroform ( $CHCl_3$ ) i bromodiklormetan (BDCM), te se smjernicama za vodu za piće uobičajeno ograničavaju spojevi THM sa klorom i bromom te njihove kombinacije (SZO, 2005), a upravo oni se koriste kao indikatori nusprodukata dezinfekcije jer se lako mogu detektirati u vodi za piće (Cool i sur., 2019). Regulative Ujedinjenog Kraljevstva ograničavaju koncentraciju ukupnih trihalometana (THM) na  $100\mu\text{g/l}$  i zahtijevaju da DBP budu svedeni na minimum (DWI, 2010), te i u Republici Hrvatskoj su prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (2008) regulirani i njihova je maksimalna dozvoljena granica  $100\mu\text{g/l}$ .



Slika 3. Dijagram nastajanja nusprodukata dezinfekcije (engl. disinfection by-products – DBP) vode (preuzeto i prilagođeno iz Krasner, 2009.)

Krasner (2009) govori da tretmani ozonom ili UV-om iako smanjuju razinu reguliranih THM-a, mogu uzrokovati povećano nastajanje DBP koji tek u nedavnim istraživanjima pokazuju veću toksičnost nego regulirani nusprodukti dezinfekcije poput trihalometana sa jodom kao halogenim elementom.

Razine kloroforma su općenito više u kloriranoj površinskoj vodi nego u podzemnoj vodi radi više koncentracije prisutnih organskih tvari u površinskoj vodi. Razina stvaranja kloroforma varira ovisno o različitim procesima pročišćavanja vode. Koncentracije kloroforma u kloriranoj vodi u postrojenjima za pročišćavanje i distribucijskim sustavima približno su dvostruko veće tijekom toplijih mjeseci nego tijekom hladnijih mjeseci. Razina nusprodukata dezinfekcije može porasti i prolaskom klorirane vode od postrojenja za pročišćavanje kroz distribucijski sustav radi kontinuirane prisutnosti rezidualnog klora (SZO, 2005).

Kompleksne reakcije između organskih tvari i klora nisu još potpuno razumljive no bitni faktori koji na njih mogu utjecati uključuju temperaturu, pH-vrijednost kloriranja, vrstu te koncentraciju prisutnih organskih tvari, te vrijeme djelovanja klora (SZO, 2005). U kontekstu

klimatskih promjena ustanovljeno je da porast temperature pogoduje formiranju DBP u površinskim vodama (Delpla i sur., 2009). S obzirom na korelaciju porasta temperature i povećanja količine nastalih nusprodukata, prema radu Cool i sur. (2019) kao najučinkovitiji tretmani vode su uspostavljene „naprednije“ metode obrade, a naprednijima se smatra kombinacija kloriranja te jedne od slijedećih metoda: ozon, filtracija, aktivni ugljen te UV. Ove metode, ukoliko kombinirane pokazuju najveću otpornost prema klimatskim promjenama, odnosno učinkovito smanjuju količinu DBP tj. njihove prekursore (organsku tvar) iz vode.

### **3. Pregled stanja u Hrvatskoj**

Prema izvješću Europske agencije za okoliš (EEA), Republika Hrvatska pripada skupini od 3 europske zemlje s najvećim kumulativnim udjelom šteta od ekstremnih vremenskih i klimatskih događaja, u odnosu na bruto nacionalni proizvod BNP (Prilagodba klimatskim promjenama, 2021a). Klimatske promjene su utjecale i na teritorij Republike Hrvatske, a najuočljivije su promjene temperatura i količine oborina. Temperatura je u porastu, a oborine mijenjaju svoju učestalost i intenzitet, što naravno utječe i na vode u Hrvatskoj (Beraković i Beraković, 2011).

Primjer promjene temperatura vidljiv je na primjeru nekoliko Hrvatskih gradova. Zabilježene prosječne temperature grada Gospića u periodu od 1988. do 2005. godine su veće od svih zasebnih temperaturnih prosjeka najtoplijih godina u periodu od 1961. do 1987. godine. U ranijem periodu porast prosječne temperature je iznosio 0,9°C, dok u periodu do 2009. godine taj iznos raste za 1,1°C, dakle za 4 godine je temperatura porasla za 0,2°C. Ukoliko bi se takav trend rasta nastavio, 2100. godine bi dosegao porast od 5,7°C što odgovara procjeni IPCC-a. Usporedbom sa ostalim gradovima Republike Hrvatske, svaki mjesec bilježimo porast temperature, osim rujna, te najveće poraste bilježe siječanj i kolovoz. Razlike između prosječne temperature u kolovozu i najtoplijeg mjeseca u godini, srpnju, su sve manje. Količina oborina u Gospiću se nije značajno promijenila, no zabilježene količine godišnjeg hoda oborina u Gospiću i Đurđevcu pokazuju da se osjetno povećala količina oborina u rujnu i smanjila u kolovozu i veljači, ali broj kišnih dana godišnje ostaje nepromijenjen (Beraković i Beraković, 2011).

Očekuje se i povećanje prosjeka vrućih dana koji je 15 do 20 dana u periodu referente klime (1971-2000) u većem dijelu Hrvatske za od 6 do 8 dana, a u Istočnoj Hrvatskoj i na dijelovima

Jadrana 8 i više dana. Na razini čitave Hrvatske se očekuje porast veći od 12 dana. Do 2040. godine se predviđa porast ljetnih dana sa toplim noćima (minimalne temperature od 20°C), a najveći porast se očekuje na Jadranu, koji bi do 2070. još osjetno trebao porasti. S druge strane i za broj hladnih ledenih dana (minimalne temperature ispod -10°C) se očekuje promjena. U razdoblju od 2011. do 2040. godine bi se broj hladnih dana trebao smanjiti u odnosu na referentnu klimu, a za razdoblje od 2041. do 2070. godine se očekuje i daljnji pad broja ledenih dana (Izvješće, 2018).

Prema 7. Nacionalnom Izvješću prema UNFCCC (2018) prognozira se porast kiselosti Jadranskog mora za do 0,2 stupnja pH te kao posljedicu nemogućnost uzgoj školjkaša u određenim područjima, što bi posljedično dovelo i do ekonomskih problema.

Jedan od utjecaja klimatskih promjena na vodene resurse u Hrvatskoj koji izazivaju visoku ranjivost je smanjenje količine voda. Radi o smanjenu količina vode na izvorištima, u jezerima, te pad razina podzemnih voda. Uz to dolazi i do porasta razine mora, a i povećava se učestalost i intenzitet poplava, bujica, te poplava od oborina u urbanim područjima (Prilagodba klimatskim promjenama, 2021b).

Na sjevernom Jadranu se uočava produljenje sušnih razdoblja tokom proljeća, oko 10%/10 godina te se takva tendencija primjećuje u ljetnom periodu duž obale Jadrana u vrijednostima do 24%/10 godina. Prema trendu, očekuje se nastavak porasta evapotranspiracije za 30% tokom 21. stoljeća (Izvješće, 2018). Evapotranspiracija se definira kao proces prijenosa vode u atmosferu putem isparavanja iz tla ili putem transpiracije sa biljaka (Prilagodba klimatskim promjenama, 2021c). S obzirom da je potencijalna evapotranspiracija osjetljiva na promjenu temperature zraka u toplom dijelu godine, a ne u hladnom dijelu godine, područja sa maksimalnom količinom padalina tokom toplog dijela godine bit će više osjetljiva na globalno zatopljenje nego područja sa maksimalnom količinom padalina tokom hladnog dijela godine (Izvješće, 2018).

U Hrvatskoj su u posljednjih nekoliko godina zabilježene brojne prirodne katastrofe: poplava u Slavoniji 2014. godine, 2017. godine izrazito niske temperature u Splitu, a iste godine u Zadru su zabilježene obilne poplave. Sve su one utjecala na vodoopskrbne sustave, a u budućnosti se očekuje povećanje učestalosti i intenziteta pojava koje su posljedica klimatskih promjena, što će utjecati na pouzdanost sustava javne vodoopskrbe i značajno povećati operativne troškove (Ujević Bošnjak i sur., 2019).

## 4. Zaključak

Glavni utjecaj klimatskih promjena na površinske vode je promjena odnosno porast temperature koji onda utječe na ostale parametre kvalitete vode, od kojih neki mogu imati ozbiljne posljedice za ljudsko zdravlje. Porast temperature zraka, odnosno vode, ima značajan utjecaj na druge parametre. Također, suše, poplave i pojačane oborine značajno utječu na dostupnost vode za piće. Povećane temperature uz obilnije padaline će imati značajnog utjecaja na otopljeni kisik, organsku tvar, patogene mikroorganizme te onečišćivače, no obilne padaline posebice prijete vodovodnim sustavima gdje bi pri težim vremenskim nepogodama u urbanim područjima moglo doći do češćih nestašica ili kontaminacija vode za piće. U procesima obrade voda najveće probleme izazivaju povećane koncentracije organskih tvari u vodi, alge te radi potencijalnih zdravstvenih rizika za ljudsko zdravlje nusprodukti dezinfekcije.

Često su dostupna istraživanja ograničena na specifična područja poput pojedinačnih rijeka ili jezera u relativnom kratkom vremenskom periodu. Nužna su istraživanja koja uzimaju u obzir veći raspon analiziranih parametara kako bi što bolje shvatili međusobna direktna i indirektna djelovanja klimatskih promjena na većem uzorku voda.

Daljnja istraživanja su potrebna i u analizi trenda klimatskih promjena kako bi se dobila što izglednija predviđanja utjecaja klimatskih promjena u budućnosti, što pruža mogućnost prilagodbe klimatskim promjenama, a ako ne i sprječavanja najnepogodnijih scenarija.

## 5. Literatura:

Antony, A., Blackbeard, J., Leslie, G. (2012) Removal efficiency and integrity monitoring techniques for virus removal by membrane processes, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **42**: 891–933.

Aoyagi, N., Saito, T. (2015) Luminescence spectroscopy as versatile probes for chemical diagnostics on the solid-liquid interface, *Laser Surface Engineering: Processes and Applications*, str. 549-564.

Bates, B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof, J.P. (2008) *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, str. 68-91.

Blašković, A. (2013) Utjecaj zakiseljavanja mora na morske organizme, Završni rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Beraković, B., Beraković M. (2011) 5. Hrvatska Konferencija o vodama – Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena, Opatija

Bloomfield, J. P., Williams, R.J. (2006) Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater UK perspective. *Science of the Total Environment*, **369**: 163–177.

Burić, B. (2021) Prirodne organske tvari u površinskim vodama, Završni rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Centers for Disease Control and Prevention, CDC (2018) Facts about Cyanobacterial Harmful Algal Blooms for Poison Center Professionals, <<https://www.cdc.gov/habs/materials/factsheet-cyanobacterial-habs.html>> Pristupljeno 26.8.2021.

Cool, G., Delpla, I., Gagnon, P., Lebel, A., Sadiq, R., Rodriguez, M.J. (2019) Climate change and drinking water quality: Predicting high trihalomethane occurrence in water utilities supplied by surface water, *Environmental Modelling and Software* **120**: str. 104479

Dayarathne, H. N. P., Angove, M.J., Aryal, R., Abuel-Naga, H., Mainali, B. (2020) Removal of natural organic matter from source water : Review on coagulants , dual coagulation, alternative



coagulants, and mechanisms, *Journal of Water Process Engineering*, str. 101820. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101820.

Delpla, I., Jung, A.V., Baures, E., Clement, M., Thomas, O. (2009) Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production, *Environment International* **35**(8): str. 1225–1233.

Drinking Water Inspectorate, DWI (2010) Guidance on the implementation of the water supply (water quality) regulations 2000 (as amended), England. London, UK

European Environment Agency, EEA (2021a) European sea surface temperature <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-surface-temperature-4/assessment>> Pristupljeno: 27.8.2021.

European Environment Agency, EEA (2001b) EEA Glossary <<https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/algal-bloom-harmful>> Pristupljeno 27.8.2021.

Europska Komisija i Direktorat - General for Research and Innovation (2011) Climate Change Impacts on Water and Security in Southern Europe and neighbouring regions, str. 25.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA (2021a) Indicators: Dissolved Oxygen <<https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen>> Pristupljeno: 17.8.2021.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA (2020b) Definition and Characteristics of Low Flows <<https://www.epa.gov/ceam/definition-and-characteristics-low-flows#low>> Pristupljeno: 17.8.2021.

Evans, C. D., Monteith, D. T., Cooper, D. M. (2005) Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations , possible causes and environmental impacts, *Environmental Pollution*, **137**: 55-71.

Fondriest Environmental, Inc. (2014) Algae, Phytoplankton and Chlorophyll. Fundamentals of Environmental Measurements. <<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-chlorophyll/>> Pristupljeno 17.8.2021.

Fukushima, T. Ozaki, N., Kaminishi, H., Harasawa, H., Matsushige, K. (2000) Forecasting the changes in lake water quality in response to climate changes, using past relationships between meteorological conditions and water quality, *Hydrological Processes*, **14**(3): 593–604.

- Garcia-Pichel, F. (2009) Cyanobacteria u; Encyclopedia of microbiology, Elsevier Inc., str. 107-124.
- George, G., Hurley, M., Hewitt, D. (2007) The impact of climate change on the physical characteristics of the larger lakes in the English Lake District, *Freshwater Biology*, **52**(9): 1647–1666.
- Hrdinka, T., Novicky, O., Hanslik, E., Rieder, M. (2012) Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-environment Research* **6**(2): 145–150.
- Hu, T., Pang, C., Zhou, X. (2018) Say No to the Thirsty Planet: Too Few Freshwater for the Daily Life of Human Beings, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2**: 1-6.
- Hunter, P. R. (2003) Climate change and waterborne and vector-borne disease, *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement*, **94**(32): 37–46.
- Krasner, S. W. (2009) The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **367**(1904):4077–4095.
- Jenkins, G.J., Murphy, J.M., Sexton, D.M., Lowe, J.A., Jones, P., Kilsby, C.G. (2010) UK Climate Projections briefing report
- Mijatović, I., Matošić, M. (2020) Interna skripta Tehnologija vode, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Mimikou, M. A., Baltas, E., Varanou, E., Pantazis, K. (2000) Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators, *Journal of Hydrology*, **234**(1–2), 95–109.
- Mosley, L. M. (2015) Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration, *Earth-Science Reviews*. **140**: 203–214.
- Mujere, N., Moyce, W. (2017) Climate Change Impacts on Surface Water Quality, *Hydrology and Water Resource Management*. IGI Global, str. 97–115. doi: 10.4018/978-1-5225-3427-3.ch004.
- Nie, L., Lindholm, O., Lindholm, G., Syversen, E. (2009) Impacts of climate change on urban drainage systems – a case study in Fredrikstad, Norway. *Urban Water Journal*, **6**(4): 323-332.
- National Centers for Coastal Ocean Science, NOAA (2014) <<https://coastalscience.noaa.gov/news/coastal-ocean-acidification-eutrophication-problem/>> Pristupljeno 11.8.2021.

O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A., Gobler, C.J. (2012) The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful algae* **14**: 313-334.

Ostarcevic, E. R., Jacangelo, J., Gray, S.R., Cran, M. J. (2018) Current and emerging techniques for high-pressure membrane integrity testing, *Membranes*, **8**(3): 1–27.

Parsons, S.A., Jefferson, B., Goslan, E.H., Jarvis, P., Fearing, D.A. (2004) Natural Organic Matter – the Relationship between Character and Treatability. *Water Science and Technology: Water Supply*. **4** (5-6): 43-48.

Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (2008) *Narodne novine* **47** (NN 47/2008)

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (2017), *Narodne novine* **125** (NN 125/2017)

Prilagodba klimatskim promjenama (2021a) Utjecaji klimatskih promjena na RH, <<https://prilagodba-klimi.hr/utjecaji-klimatskih-promjena/>> Pristupljeno 21.7.2021.

Prilagodba klimatskim promjenama (2012b) Vodeni resursi <<https://prilagodba-klimi.hr/baza-znanja/hidrologija-vodni-i-morski-resursi/>> Pristupljeno: 21.7.2021.

Prilagodba klimatskim promjenama (2021c) Pojmovnik, <<https://prilagodba-klimi.hr/pojmovnik/#1577104586087-62b88486-6cee>> Pristupljeno 21.7.2021.

Qasem, N. A. A., Mohammed, R. H., Lawal, D. U. (2021) Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review, *Npj Clean Water* **4**(1): 1-15.

Ritson, J. P., Graham, N. J.D., Templeton, M. R., Clark, J. M., Gough, R., Freeman, C. (2014) The impact of climate change on the treatability of dissolved organic matter (DOM) in upland water supplies: A UK perspective, *Science of the Total Environment*. **473–474**, str. 714–730.

Saleh, I. A., Zouari, N., Al-Ghouti, M. A. (2020) Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches, *Environmental Technology and Innovation*. **19**, str. 101026, doi: 10.1016/j.eti.2020.101026.

Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UFCCC), (2018) Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske, Zagreb

Sillanpää, M. (2015) General Introduction, *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*. Elsevier Inc., str. 1-15.

Singh, R. (2015) Water and Membrane Treatment. Membrane Technology and Engineering for Water Purification, 81–178.

Singh, R., Bhadouria, R., Singh, P., Kumar, A., Pandey, S., Singh, V.K. (2020) Nanofiltration technology for removal of pathogens present in drinking water U; Waterborne Pathogens, str. 463-489.

Shon, H.K., Phuntsho, S., Chaudhary, D.S., Vigneswaran, S., Cho, J. (2013) Nanofiltration for water and wastewater treatment – a mini review. Drinking Water Engineering and Science **6**(1): 47-53.

Svjetska zdravstvena organizacija (2019) Drinking-water <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>> Pristupljeno 5.9.2021.

Svjetska zdravstvena organizacija (2007) pH in drinking-water, Guidelines for drinking water quality, **2**(2), str. 1–7.

Svjetska zdravstvena organizacija (2005) Trihalomethanes in Drinking - water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality str. 1-59.

Ujević Bošnjak, M., Bućan Ž., Capak K., Jeličić J. (2019) Mogući utjecaj klimatskih promjena na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju, Hrvatske vode, **27**: 355-360.

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC (2011) Climate change science - the status of climate change science today, United Nations Framework Convention on Climate Change, (February 2011), str. 1–7.

Valdivia-Garcia, M., Weir, P., Graham, D.W., Werner, D. (2019) Predicted Impact of Climate Change on Trihalomethanes Formation in Drinking Water Treatment, Scientific Reports **9**(1), 1–10.

Villacorte, L. O., Tabatabai, S. A.A., Dhakal, N., Amy, G., Schippers, J. C., Kennedy, M. D. (2015) Algal blooms: an emerging threat to seawater reverse osmosis desalination, Desalination and Water Treatment, **55**(10): 2601–2611.

Villacorte, L. O., Tabatabai, S.A.A., Anderson, D.M., Amy, G., Schippers, J. C., Kennedy, M.D. (2015) Seawater reverse osmosis desalination and (harmful) algal blooms, Desalination, **360**: 61–80.

van Vliet, M. T. H., Zwolsman, J. J. G. (2008) Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river, Journal of Hydrology, **353**, 1–17.

Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M., Wade, A.J. (2009) A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological sciences journal*, **54**(1), 101-123.

Zakon o vodama (2021) *Narodne novine* **84** (NN 84/21)

Zwolsman, J. J. G., van Bokhoven, A. J. (2007) Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River - A preview of climate change?, *Water Science and Technology*, **56**(4), 45–55.

Zadnja stranica završnog rada

(uključiti u konačnu verziju završnog rada u pdf formatu, kao skeniranu potpisanu stranicu)

### Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



---

ime i prezime studenta