

Utjecaj klimatskih promjena na slatkovodne ekosustave

Hrgovan, Sarah

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:293024>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-09**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Sarah Hrgovan

**Utjecaj klimatskih promjena na
slatkovodne ekosustave**

Završni rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Sarah Hrgovan

**Impact of Climate Change on Freshwater
Ecosystems**

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Perice Mustafića.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek
rad

Završni

Utjecaj klimatskih promjena na slatkovodne ekosustave

Sarah Hrgovan

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U proteklih 150 godina, zbog emisije stakleničkih plinova, došlo je do porasta globalnih temperatura za otprilike 1,5 °C. Takva promjena temperature uzrokuje razne promjene u slatkovodnim ekosustavima. Slatkovodnim ekosustavima smatraju se tekućice, jezera i močvare. Tekućicama se mijenja režim te mehanizam otjecanja. Jezerima se mijenjaju trofija i miješanje, a stratifikacija traje sve duže. Močvare presušuju zbog nedostatka padalina i smanjenja razine podzemne vode. Korištenjem obnovljivih izvora energije poput hidroenergije smanjuje se emisija stakleničkih plinova, no izgradnjom brana mijenjaju se hidrološka obilježja tekućice te životni uvjeti tog staništa. Degradacija staništa te promjena životnih uvjeta ugrožava brojne autohtone vrste koje nisu prilagođene na takve uvjete. Vrstama čije je razmnožavanje uvjetovano temperaturom mijenjaju se životni ciklusi. Ribama nije omogućena migracija kako bi se mogle mrijestiti, a brojne se jezerske vrste zadržavaju u dubljim, hladnijim slojevima. Raste broj invazivnih vrsta koje su bolje prilagođene na novonastale uvjete, a nanose štetu autohtonim populacijama i degradiraju ekosustav. Ako emisije stakleničkih plinova i globalne temperature nastave trend porasta, posljedice na slatkovodne ekosustave će se pogoršati.

Ključne riječi: Globalno zatopljenje, slatka voda, rijeke, jezera, močvare, slatkovodna staništa

(19 stranica, 9 slika, 0 tablica, 65 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski jezik)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Perica Mustafić

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

Impact of Climate Change on Freshwater Ecosystems

Sarah Hrgovan

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

In the last 150 years due to Greenhouse gas emissions, the global temperature has risen about 1,5 °C. Such change in temperature has multiple consequences on freshwater ecosystems. Rivers, lakes and wetlands are considered freshwater ecosystems. Rivers experience change in regime and flow mechanism. Lakes experience change in primary production and mixing patterns, also thermal stratification lasts longer. Lack of precipitation and low groundwater levels are the cause of wetland drainage. The usage of renewable energy sources, as hydro energy, reduce the emissions of GHG, but change the hydrological and biological characteristics of rivers. Degradation of habitats and change of living conditions endanger native species that are not able to adapt quickly. Species which reproduction is temperature dependent experience change in life cycles. Fish are not able to migrate and many species living in lakes stay near ground as the water there is cooler. The number of invasive species, who are better adapted, is rising. Invasive species harm native species and further degrade ecosystems. If GHG emissions and global temperatures don't stop rising the effects on freshwater ecosystems will be even more damaging.

Keywords: Global warming, freshwater, rivers, lakes, wetlands, freshwater habitats

(19 pages, 9 figures, 0 tables, 65 references, original in: Croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. dr. sc. Perica Mustafić

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Klimatske promjene	2
3. Slatke vode	3
3.1. Podjela slatke vode	3
3.2. Slatkovodni sustavi	4
3.2.1 Tekućice	4
3.2.2 Stajaćice	5
4. Indikatori utjecaja klimatskih promjena na slatkovodne ekosustave	8
4.1. Hidrološki indikatori	8
4.2. Indikatori kakvoće vode	8
4.3. Indikatori strukture i funkcije ekosustava	9
5. Posljedice klimatskih promjena na slatkovodne sustave	10
5.1. Ledeni pokrov	10
5.2. Jezera	10
5.3. Tekućice	10
5.4. Močvare	11
6. Posljedice klimatskih promjena na živi svijet	11
6.1. Razmnožavanje	11
6.1.1. Vodozemci (<i>Amphibia</i>)	11
6.1.2. Gmazovi (<i>Reptilia</i>)	11
6.2. Migracije riba	12
6.3. Invazivne vrste	12
6.3.1. Kalifornijska pastrva (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	13
6.3.2. Crvenouha kornjača (<i>Trachemys scripta elegans</i>)	13
6.3.3. Signalni rak (<i>Pacifastacus leniusculus</i>)	14
7. Zaključak	15
8. Literatura	16
Životopis	19

1. Uvod

Od ukupne vode na Zemlji, samo je 3% slatke vode, a 1% slatke površinske vode iskoristiv je za ljudske potrebe (Singh i sur. 2021.). Slatka voda bitan je resurs ne samo za čovjeka, već i za brojne vrste koje žive u ili oko slatkovodnih tijela. Ulaskom u industrijsko doba prije otprilike 150 godina naglo su se počele povećavati koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi, zbog kojih dolazi do ubrzanog porasta temperature na Zemlji. Temperatura je u prosjeku porasla za 1,5 °C (European Environment Agency 2024.), što se čini kao mala promjena, no ona ima velike posljedice na okoliš, pogotovo na slatkovodne ekosustave (Slika 1). Povećanje temperature ima brojne posljedice: mijenja miješanja i trofiju jezera te režim tekućica, pojačava isparavanje, isušuje močvare, povećava čestinu i intenzitet oluja,... Brojnim se vrstama smanjuje broj, a povećava se broj invazivnih koje su prilagođenije i otpornije na nove životne uvjete. Korištenjem obnovljivih izvora energije pokušava se ublažiti utjecaj klimatskih promjena, no korištenje odnosno proizvodnja hidroenergije trajno i nepovratno mijenja slatkovodna staništa te ih degradira, što dovodi do smanjenja bioraznolikosti te samim time i nestanka vrsta s promijenjenih staništa.

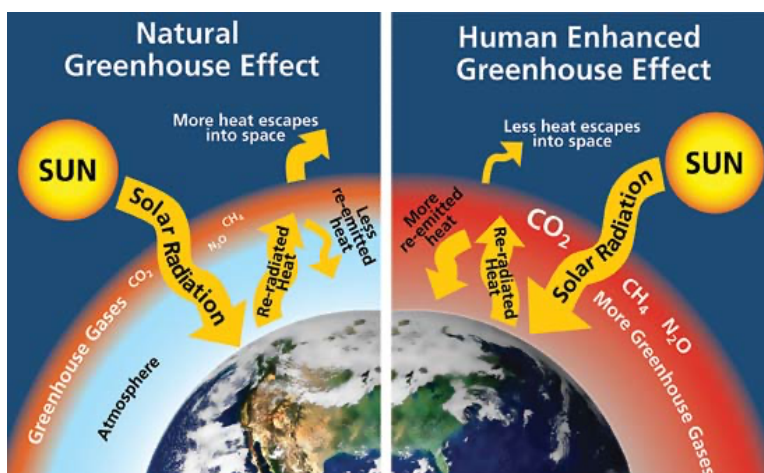


Slika 1: Slatkovodni ekosustav (močvara) (Hrvatske vode, 2020.)

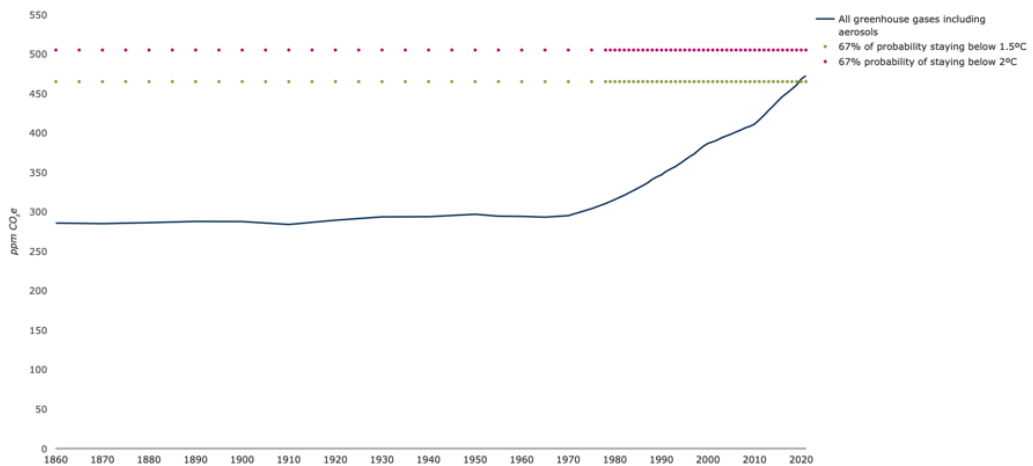
2. Klimatske promjene

Klima je prosječno stanje atmosfere nad nekim područjem praćeno kroz kontinuirani niz od otprilike 30 godina. Klima se prirodno mijenja kroz desetke tisuća godina te dolazi do stalne izmjene glacijala (ledenih doba) i interglacijala (toplijih doba). Mi se danas nalazimo u Holocenu, interglacijalu koji je započeo prije otprilike deset tisuća godina završetkom kenozojske glacijacije. Temperature u interglacijalu rastu te dolazi do povlaćenja ledenog pokrova (Šegota i Filipčić 1996.).

Temperatura na Zemlji regulirana je efektom staklenika. Efekt staklenika uzrokovan je „slojem“ stakleničkih plinova (metana, ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, didušikovog oksida, vodene pare,...) visoko u atmosferi koji iz svemira propušta Sunčevo kratkovalno ultraljubičasto zračenje (UV), a ne propušta Zemljino dugovalno infracrveno zračenje (IR). Staklenički plinovi apsorbiraju IR zračenje te ga emitiraju u svim smjerovima, dijelom u svemir, a dijelom natrag na Zemlju. Tako efekt staklenika na prirodan način omogućuje život na Zemlji jer bi bez njega temperatura bila oko $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Šegota i Filipčić 1996.). Osim prirodnog efekta staklenika postoji i antropogeni (Slika 2), odnosno efekt staklenika koji je pojačan u posljednjih 150 godina zbog povećane emisije stakleničkih plinova. U geološko kratkom vremenu, temperatura se na Zemlji povećala za otprilike $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ što nazivamo globalnim zatopljenjem. Od 1860. do 2021. godine koncentracija stakleničnih plinova porasla je s 285,71 na 472,35 ppm (Slika 3) (European Environment Agency 2024.). Klimatske promjene i globalno zatopljenje veliki su problem sadašnjosti i budućnosti jer, kako bi se porast temperature zaustavio, potrebno je u potpunosti prestati emitirati stakleničke plinove. To zahtjeva promjenu ljudskih životnih navika te prelazak na obnovljive izvore energije.



Slika 2: Usporedba prirodnog i antropogenog efekta staklenika (MrGeogWagg 2015.)

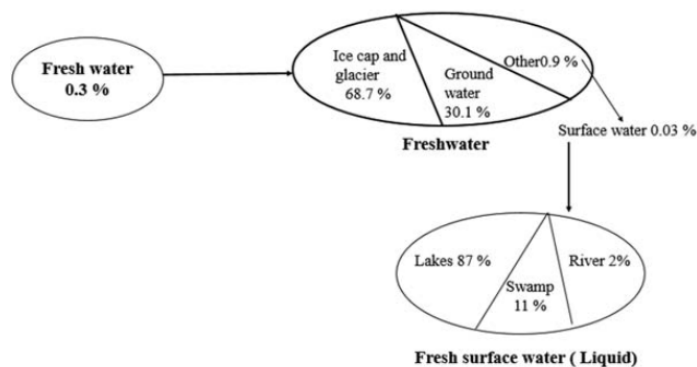


Slika 3: Trend porasta koncentracije stakleničkih plinova od 1860. do 2020. godine (European Environment Agency, 2024.)

3. Slatke vode

3.1. Podjela slatke vode

Vodu na Zemlji nalazimo u tri agregacijska stanja: krutom, tekućem i plinovitom. Od ukupne vode na Zemlji samo je 3% slatke vode, odnosno vode koja ima manje od 500 mg/L otopljenih soli. Nalazimo ju u jezerima, rijekama, ledenom pokrovu, močvarama te u podzemlju. Od ukupne slatke vode 69% nalazimo u ledenom pokrovu, 30% u podzemlju te manje od 1% nalazimo u površinskim vodnim tijelima. Najviše vode ima u jezerima, 87%, 11% u močvarama te 2% u rijekama odnosno tekućicama (Slika 4). Na površini se nalazi 1% vode koja je pogodna za ljudsku uporabu dok se preostalih 99% nalazi u podzemlju. (Singh i sur. 2021.)



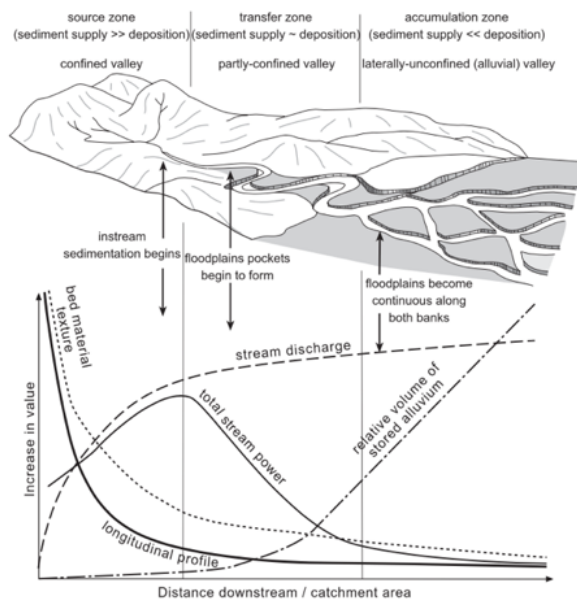
Slika 4: Podjela slatke vode (Singh i sur. 2021.)

3.2. Slatkovodni sustavi

Slatkovodna staništa dijele se na lentička i lotička staništa. Lentička staništa su stajaćice, jezera i močvare, gdje nema strujanja vode. Lotička su staništa rijeke, potoci te podzemna voda (tekućice), kod kojih postoji stalno strujanje vode. (Singh i sur. 2021.)

3.2.1 Tekućice

Tekućice su slatkovodna tijela u kojima voda teče kroz korito pod utjecajem gravitacije. Dijele se na potoke i rijeke ovisno o količini vode, veličini korita te protoku. Tekućice mogu biti stalne, sezonske i povremene. Stalne tekućice imaju vode u koritu neovisno o godišnjem dobu i vremenskim prilikama, sezonske presušuju dio godine, najčešće ljeti, dok su povremene većinu vremena suhe, a izvor vode su im jaki pljuskovi (Riđanović 1993.). Staništa privremenih tekućica nazivaju se riparijska staništa. Tekućice teku od izvora prema ušću, a mogu se ulijevati u more, jezero ili neku veću tekućicu. Estuarij je ljevkasti zaljev koji nastaje djelovanjem morskih mijena, plime i oseke. Plimni val erodira nataložen sediment te tako produbljuje korito. U estuarijima dolazi i do prodiranja slane vode te može doći do stvaranja dva sloja vode, slatkog i slanog (Hrvatska enciklopedija n.d.). Delta je rukavasto ušće koje se neprestano širi, a između pojedinih rukavaca mogu nastati močvare ili poljoprivredna područja (Hrvatska enciklopedija n.d.). Tekućicu možemo podijeliti na gornji, srednji i donji tok (Slika 5). Za gornji tok karakteristična je velika brzina toka zbog većeg nagiba terena, korito je uže te dolazi do dubinske erozije zbog koje korito poprima oblik slova „V“. Erozija je veća od sedimentacije te se zbog toga gornji tok smatra zonom proizvodnje materijala (Fryirs i Brierley 2013.). U srednjem toku dolazi do smanjena nagiba te brzine toka. Tekućica počinje meandrirati te je pojačana bočna erozija zbog koje korito poprima oblik slova „U“. Dolazi do erozije vanjske strane meandra te do akumulacije na unutarnoj strani. Erozija i sedimentacija su u ravnoteži pa se srednji tok smatra zonom prijenosa materijala. U donjem toku je tekućica najšira te najsporije teče. Transport čestica i erozija vrlo su slabi te dolazi do taloženja (zona taloženja) (Fryirs i Brierley 2013.).



Slika 5: Mehanizmi toka u tekućicama (Fryirs i Brierley 2013.)

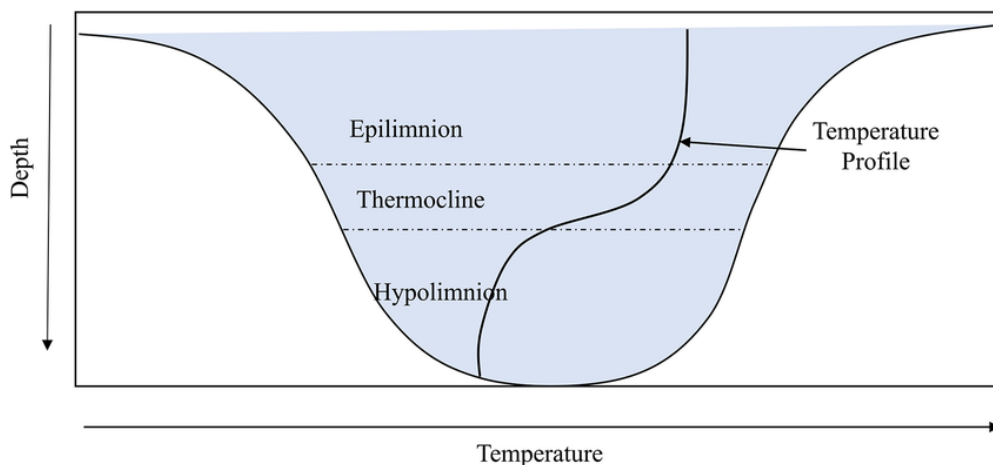
3.2.2 Stajaćice

Jezera

Jezero je udubljenje zemljine kore ispunjeno vodom. Jezera mogu biti prirodna ili umjetna. Prirodna jezera su nastala prirodnim procesima, često pod utjecajem tektonike i padalina, a umjetna su nastala djelovanjem čovjeka (Riđanović, 1993.).

U dubljim jezerima dolazi do stratifikacije (Slika 6) zbog diferencijalnog zagrijavanja pojedinih slojeva. Površinski sloj naziva se epilimnion, koji je uvijek u dodiru s atmosferom. Središnji sloj je metalimnion, a najdublji sloj je hipolimnion. Epilimnion je najtopliji te se u toplom dijelu godine njegova debljina povećava ovisno o jačini zagrijavanja. Ispod toplog epilimniona, nalazi se metalimnion u kojem temperatura naglo opada, 10-ak stupnjeva po metru dubine. Najhladniji je pridneni hipolimnion koji je najgušći jer mu temperatura iznosi 4 °C. O temperaturi vode ovise miješanja vode u jezeru, odnosno izmjena vode. Voda se može izmijeniti u potpunosti (holomiktička jezera) ili djelomično (meromiktička jezera). (Riđanović, 1993.) Prema Hutchinsonu (1957.) postoji šest tipova jezera prema miješanju: dimiktička, hladna monomiktička, topla monomiktička, polimiktička, oligomiktična i meromiktička. Na našem području jezera su topla monomiktična što znači da do potpune izmjene vode dolazi zimi.

Osim prema miješanju, jezera se mogu podijeliti i prema primarnoj proizvodnji. Thienemann (1955.) podijelio je jezera prema primarnoj proizvodnji, odnosno „trofiji“ na eutrofna, oligotrofna i distrofna. Eutrofna jezera bogata su hranjivim tvarima, a primarna proizvodnja je velika zbog koje može doći do anoksije. Uginuli organizmi, biljke i životinje, tonu te se na dnu razgrađuju. Razgradnjom organske tvari nastaju reduktivni uvjeti, kisik se troši, a obzirom da hipolimnion nije u dodiru s atmosferom i da miješanja ima samo jednom godišnje, nema novog izvora kisika. Nakon što nastupi anoksija u jezeru se počinje stvarati sumporovodik. Do eutrofikacije može doći i unošenjem različitih onečišćujućih tvari u sustav, poput otpadnih voda, gnojiva, nitrata i fosfata. Oligotrofna jezera, za razliku od eutrofnih, nemaju puno hranjivih tvari, a primarna proizvodnja je mala. Često imaju strme obale, a voda je vrlo prozirna i plavo-zelene boje. Bogata su kisikom u cijelom vodenom stupcu, a mogu se pretvoriti u eutrofna ili distrofna jezera. Distrofna jezera su plitka, a česta su u močvarnim područjima s malom primarnom proizvodnjom. Smeđe su boje, slabo prozirna te kisela.



Slika 6: Stratifikacija jezera (ResearchGate 2024)

Čovjek koristi umjetna jezera za vodoopskrbu ili hidroenergiju. Izgradnjom brana na tekućicama nastaju akumulacijska jezera iz kojih se voda ispušta preko turbina kako bi se proizvodila električna energija na obnovljivi način. Pojačavanjem globalnog zatopljenja raste i broj hidroelektrana koje bez ispuštanja stakleničkih plinova mogu proizvesti veliku količinu energije. Do emisije stakleničkih plinova dolazi za vrijeme izgradnje brane, no nakon puštanja u pogon emisije više nema. Osim proizvodnje energije, brane imaju bitnu ulogu u obrani od poplava, navodnjavanju i odvodnjavanju. (HEP, n.d.) U procesu izgradnje i rada hidroelektrane otvaraju se mnoga radna mjesta, a proizvedena energija opskrbljuje veliki broj kućanstava.

Međutim, hidroelektrane i brane mogu imati i negativan utjecaj na okoliš. Izgradnjom brane mijenjaju se hidrološke karakteristike tekućice jer ona više ne može teći, već poplavljuje svoju dolinu. Organizmima koji su navikli na strujanje vode se mijenjaju životni uvjeti te mnogim vrstama opada broj ili u potpunosti nestaju na tim područjima. Ribe ne mogu migrirati, a dolazi i do pojačanog razvoja algi. Prijenos materijala kroz tekućicu je zaustavljen te dolazi do pojačanog taloženja ispred brane što smanjuje njenu efikasnost. (Zaštita prirode, n.d.)

Močvare

Močvare su područja gdje je tlo vrlo zasićeno slatkom vodom, a karakteristične su za tople i vlažne krajeve (Riđanović, 1993.) Procjenjuje se da zauzimaju otprilike 5% ukupne površine kopna, a unatoč toliko maloj površini, na drugom su mjestu prema broju životinjskih vrsta koje ondje stanuju, nakon oceana. Voda je u močvarama niske pH vrijednosti, a tlo je bogato hranjivim tvarima (Hrvatske vode, 2020.).

Postoje dva tipa močvara: nizinske i visoke. Nizinske močvare karakteristične su za nizinske predjele, a vodu dobivaju padalinama, iz podzemlja ili za vrijeme poplava. Bogate su vegetacijom jer su podzemne i poplavne vode bogate hranjivim tvarima, dok su visoke siromašne jer vodu dobivaju padalinama koje nemaju puno hranjivih tvari (Riđanović, 1993.). Močvare imaju bitnu ulogu u obrani od poplava jer mogu pohraniti višak vode, a po potrebi se voda otpušta u razdobljima s manje oborina. Mogu i apsorbirati višak ugljika iz zraka te time doprinose ublažavanju klimatskih promjena (Wetlands, n.d.). Bitni su pročišćivači vode jer neutraliziraju mnoge toksine, a močvarno bilje vodu zagađenu umjetnim gnojivima filtrira te iz nje uklanja fosfate i nitrati (Hrvatske vode, 2020.).

Mnoge su močvare danas isušene zbog potrebe za poljoprivrednim zemljištem ili u borbi protiv malarije koja se prenosi komarcima zaraženima praživotinjom *Plasmodium malariae* (Hrvatske vode, 2020.).

4. Indikatori utjecaja klimatskih promjena na slatkovodne ekosustave

Utjecaj klimatskih promjena na slatkovodne ekosustave prati se kroz dugogodišnja mjerenja. Rose i sur. 2023. odredili su 11 indikatora podijeljenih u tri kategorije koji ukazuju na promjene koje se događaju uslijed klimatskih promjena. Indikatori se dijele na hidrološke indikatore, indikatore kvalitete vode te indikatore strukture i funkcije ekosustava.

4.1. Hidrološki indikatori

Hidrološkim indikatorima smatraju se protok, vodostaj te rasprostiranje močvara. (USGCRP 2018.) Na njih utječe porast globalnih temperatura jer se mijenja hidrološki ciklus, odnosno padaline i isparavanje. Tekućice vodu osim iz podzemlja, dobivaju i oborinama, a količina ovisi o tome jesu li padaline u obliku kiše ili snijega koji u proljeće kopni (Peters-Lidard i sur. 2021.). Porastom temperatura snijega je sve manje, a samim time se i tekućice manje prihranjuju. Kiša je neredovita te se sve češće pojavljuje u obliku olujnih pljuskova koji u kratkom vremenu donesu veliku količinu vode. Vodostaj se također snižava što smanjuje količinu vode u jezerima te dolazi do redukcije staništa (Watras i sur. 2020.). Močvarna se područja sužavaju i presušuju zbog visokih temperatura i nedostatka padalina (Niemuth i sur. 2010.).

4.2. Indikatori kakvoće vode

Indikatorima kakvoće vode smatramo fizikalno-kemijske i biološke parametre, poput temperature, saliniteta, otopljenog organskog ugljika, klorofila α , cvjetanje algi, prozirnosti te otopljenog kisika (Rose i sur. 2022.). Mnogi parametri ovise o temperaturi vode koja se mijenja ovisno o temperaturi zraka i Sunčevom zračenju. Otopljeni organski ugljik (DOC – dissolved organic carbon) nalazimo pretežno u močvarnim područjima (Gergel et al. 1999.) gdje je voda žućkasto-smeđa. DOC nastaje razgradnjom organske tvari, a njegova se koncentracija povećava porastom temperature sustava. Klorofil α bitan je fotosintetski pigment kojeg sadrže biljke i zelene alge u staničnim organelima kloroplastima. Obzirom da se procesom fotosinteze stvaraju kisik i hranjive tvari, odnosno odvija se primarna produkcija, koncentracija klorofila α može se smatrati dobrim pokazateljem primarne produkcije (Rose i sur. 2022.). Visoke temperature pogoduju razvoju algi i cijanobakterija te dolazi do cvjetanja. Po danu, kada ima sunčevog svjetla, fotosintetski organizmi vrše fotosintezu te iz zraka uzimaju ugljikov dioksid,

a ispuštaju kisik. Noću, kada sunčevog svjetla nema, fotosintetski organizmi dišu, trošeći kisik, a ispuštajući ugljikov dioksid. To može dovesti do anoksičnih uvjeta jer se potroši sav kisik iz dubljih slojeva. Cijanobakterije u velikim količinama ispuštaju toksine zbog kojih dolazi do pomora organizama koji žive u vodi, osobito riba (O'Neil i sur. 2012.). Osim visokih temperatura na cvjetanje mogu utjecati i nutrijenti, fosfor i dušik, koji su onečišćenjem došli s kopna, a pogoduju rastu algi (Elser i sur. 2007.). Prozirnost vode mjeri se za dubinu do koje dopire sunčevo svjetlo, a mjeri se Secchi diskom (Rose i sur. 2022.). Prozirnost može ovisiti o količini organske tvari, a utjecaj mogu imati i invazivne vrste školjkaša (Bunnell et al. 2021.). Topljivost kisika ovisi o temperaturi vode i razvoju algi. Kisik se bolje topi u hladnoj vodi, a zagrijavanjem vode njegova se topljivost smanjuje. Tako topliji, površinski slojevi imaju manje otopljenog kisika koji je organizmima potreban za preživljavanje (Jane i sur. 2021.). U dubljim slojevima koncentracija kisika smanjuje se zbog eutrofikacije (Knoll i sur. 2018.).

4.3. Indikatori strukture i funkcije ekosustava

Indikatori strukture i funkcije ekosustava su fenologija, dijatomeje i beskralježnjaci. To su parametri čijim se proučavanjem može odrediti ekološko stanje slatkovodnih staništa (Rose i sur. 2022.). Fenologija je znanost koja proučava sezonske promjene organizama, odnosno kako se izmjenom godišnjih doba izmjenjuju njihovi životni stadiji. (Hrvatska enciklopedija n.d.) Zbog klimatskih promjena dolazi do promjene vremena izmjene godišnjih doba. Proljeće dolazi sve ranije, dok jesen kasni. Životni ciklusi mnogih organizama ovise o temperaturi i izmjeni godišnjih doba, poput razmnožavanja žaba. Fenološki indikatori u umjerenim širinama ovise uglavnom o temperaturi, dok u nižim geografskim širinama ovise o temperaturi i padalinama. (Cohen i sur. 2018.) U višim geografskim širinama zapaženo je ranije razmnožavanje nekih vodozemaca (*Amphibia*) poput bezrepaca (*Anura*) i repaša (*Caudata*) (While i Uller 2014.). Najosjetljivija skupina na promjene u temperaturi i oborinama je fitoplankton. (Thackeray i sur. 2016.) Dijatomeje su jednostanične alge, s ljušturicom od silicijevog dioksida (SiO_2 , kremen) zbog kojeg se nazivaju i kremenjašice. Dobri su indikatori klimatskih promjena jer nakon smrti tonu, a ljušturice ostaju u sedimentu gdje se fosilno očuvaju. Ti se fosilni nalazi mogu koristiti kako bi se analizirale paleoklime. Svaka vrsta dijatomeja ima određenu optimalnu dubinu miješanja gdje su životni uvjeti najpovoljniji za njen razvitak. Obzirom na promjene u klimi i vjetru, mijenjaju se i optimalne dubine miješanja te se talože druge vrste dijatomeja. Tako se može pratiti promjena klime kroz geološku prošlost. Beskralježnjaci (Invertebrata) važni su pokazatelji kakvoće vode. Bitni su u hranidbenom lancu

jer se njima hrane mnoge veće vrste poput riba koje se love za ljudsku prehranu (Rose i sur. 2022.).

5. Posljedice klimatskih promjena na slatkovodne sustave

5.1. Ledeni pokrov

Ledeni pokrov obuhvaća sante leda, ledene ploče, ledene brjegove te ledenjake. Zbog porasta globalne temperature dolazi do njihovog topljenja te smanjenja njihovog volumena. Oerlemans i sur. (1998.) pretpostavili su da bi do 2100. godine došlo do otapanja gotovo svih ledenjaka kada bi globalna temperatura rasla za 0,4 °C svakih deset godina. Kada bi temperatura svakih deset godina porasla za samo 0,1 °C, došlo bi do otapanja otprilike 15% ledenjaka. Najosjetljiviji ledenjaci nalaze se u tropskim krajevima obzirom da nema izmjene godišnjih doba te su temperature cijele godine visoke (Kaser et al. 1996.).

5.2. Jezera

Povišenje globalne temperature utječe na temperaturu jezera. Povišenjem temperature dolazi do pojačanog isparavanja (Schindler 2001.) te do smanjenja površine jezera što ugrožava obalna staništa koja su važna za razmnožavanje brojnih organizama (Tyedmers i Ward 2001.). Od 70-ih godina prošlog stoljeća zabilježen je pad primarne produkcije u nekim jezerima zbog manjka hranjivih tvari u površinskom sloju, što dovodi do veće prozirnosti (Hassan i sur. 2020.). Klimatske promjene različito utječu na jezera na različitim geografskim širinama. U visokim geografskim širinama jezera su zimi u pravilu prekrivena ledom, dok u toplijem dijelu godine zbog zagrijavanja dolazi do stratifikacije vodenog stupca. Zbog klimatskih promjena jezera su kraće prekrivena ledom, a stratifikacija nastupa ranije sa sve dubljom termoklinom (Schindler i sur. 1990.). Za vrijeme suše smanjuje se razina podzemne vode što može dovesti do zakiseljavanja jezera jer podzemna voda sadrži spojeve koji su zaslužni za puferski kapacitet jezera (Schindler 2001.).

5.3. Tekućice

Režimom tekućice smatra se način na koji tekućica dobiva vodu (Riđanović 1993.). Mnoge tekućice dobivaju u proljeće veću količinu vode zbog kopnjenja snijega. Obzirom na klimatske

promjene, temperature ranije rastu te i snijeg počinje ranije kopniti. Također, zime više nisu toliko hladne te umjesto snijega prevladava kiša te dolazi do povećanja protoka. Tekućice će se više zagrijavati ljeti jer je maksimum protoka zimi, a snijeg je počeo kopniti prije početka proljeća te nema izvora hladne vode (Tyedmers i Ward 2001.).

5.4. Močvare

Močvare su vrlo osjetljive na klimatske promjene. Močvare presušuju ako ne dobivaju dovoljno vode iz podzemlja ili oborinama, a visoke temperature uzrokuju jače isparavanje od precipitacije. Obilne oborine uzrokuju poplave koje pogoduju razvoju močvara, međutim moguće je i ispiranje različitih onečišćujućih tvari iz okolnih područja koje ozbiljno mogu naštetiti vegetaciji i drugim organizmima. (Hassan i sur. 2020.)

6. Posljedice klimatskih promjena na živi svijet

6.1. Razmnožavanje

6.1.1. Vodozemci (*Amphibia*)

Žabe se razmnožavaju u rano proljeće nakon što im završi period hibernacije. Zbog klimatskih promjena, zime su blaže te ranije nastupaju proljetne temperature. Obzirom da razmnožavanje žaba ovisi o temperaturi, zapaženo je da se žabe u umjerenim širinama počinju razmnožavati sve ranije (Beebee, 1995.)

6.1.2. Gmazovi (*Reptilia*)

Kod određenih skupina gmazova, poput kornjača i krokodila, spol mladunaca ne ovisi o genetskim faktorima. Spol mladunaca ovisi o temperaturi okoliša (Conover 1984.). Što je temperatura niža, mladunci kornjača će biti pretežito muškog spola, dok su pri višim okolišnim temperaturama mladunci većinom ženke. Kod krokodila je obrnuta situacija te su kod povećane temperature okoliša mladunci pretežno muškog spola. Zbog globalnog zatopljenja povećava se broj mladih ženki kornjača, dok broj mladih mužjaka uvelike stagnira. Mužjaci su većinom stariji te u sve manjem broju, što će dovesti do izumiranja nekih vrsta kornjača jer nema dovoljno reproduktivnih mužjaka s kojima bi se ženke parile kako bi se održala vrsta (Ewert i sur. 1994.).

6.2. Migracije riba

Neke jezerske ribe preferiraju hladniju vodu te migriraju kako se životni uvjeti mijenjaju. Ljeti dolazi do jakog zagrijavanja površinskog sloja vode, a zbog klimatskih je promjena termoklina na sve većoj dubini te stratifikacija duže traje. Ribe moraju migrirati u dublje slojeve te se tamo dulje zadržavati, s malom zalihom hrane i kisika (Shuter i Meisner 1992.). Takvi nepovoljni uvjeti smanjuju rast i razvoj riba te povećavaju njihovu smrtnost (Tyedmers i Ward 2001.).

Na riječne ribe negativan utjecaj ima snižavanje vodostaja u rijekama. Za vrijeme visokog vodostaja, kada tekućica poplavi naplavnu ravnicu, ribe migriraju iz korita u poplavljenu ravnicu. Kada nema dovoljno vode, ribe koje su osjetljive na male količine kisika vraćaju se u korito, dok ribe koje mogu živjeti s vrlo malo kisika, ostaju u naplavnoj ravnici (Welcomme 1979.). Ribe koje preferiraju hladniju vodu zadržavaju se bliže gornjem toku, ali sporije rastu te dolazi do kompeticije (Shuter and Meisner 1992.). Povećanje temperature vode i smanjena koncentracija otopljenog kisika imaju negativan utjecaj na jajašca (Carpenter i sur. 1992.). Kod katadromnih i anadromnih vrsta zabilježena je visoka smrtnost prije mrijesta zbog bolesti i povećanih metaboličkih potreba za vrijeme visokih temperatura (Tyedmers i Ward 2001.).

6.3. Invazivne vrste

Invazivne vrste su strane vrste koje nanose štetu autohtonim vrstama na području na koje su unesene (Invazivne strane vrste, n.d.). Mogu biti unesene namjerno ili slučajno. Posljedica klimatskih promjena je izmjena životnih uvjeta na slatkovodnim staništima. Mnoge se autohtone vrste ne mogu dovoljno brzo prilagoditi novim životnim uvjetima te migriraju ili im populacije počinju stagnirati. U umjerenim i tropskim područjima česta je pojava stranih ili invazivnih vrsta koje su puno otpornije i prilagodljivije od naših autohtonih vrsta te im predstavljaju novu prijetnju (Stachowicz et al. 2002.). Zbog zagrijavanja umjerenih širina, mnoge se tropske vrste počinju širiti jer imaju veće područje koje ima primjerene uvjete za njihov rast i razvoj. Tropske vrste u umjerenim širinama nemaju prirodne neprijatelje pa se nekontrolirano množe, a nedostatak hrane nadoknađuju predatorstvom nad autohtonim vrstama.

Prema podacima Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije u Hrvatskoj trenutno postoji oko 900 invazivnih vrsta, od čega je 600 biljnih, a 300 životinjskih.

Najpoznatiji primjeri invazivnih vrsta u Hrvatskoj su (Invazivne strane vrste, n.d.):

6.3.1. Kalifornijska pastrva (*Oncorhynchus mykiss*)

Predatorska vrsta ribe koja u povoljnim okolišnim uvjetima vrlo brzo raste (Slika 7). Prirodno stanište joj je Sjeverna Amerika, ali se raširila skoro po cijelom svijetu. Pobjegla je iz zatočeništva gdje se uzgaja za ljudsku prehranu. Smatra se da je u rijeci Ljutoj (Konavle) istrijebila vrstu *Telestes tobiensis*. Prijenosnik je patogena *Myxosoma cerebralis* i *Yersinia ruckeri* na koje zavičajne vrste nisu otporne što smanjuje njihovu populaciju.



Slika 7: Kalifornijska pastrva (Adriaticnature)

6.3.2. Crvenouha kornjača (*Trachemys scripta elegans*)

Crvenouha kornjača (Slika 8) vrsta je kornjače koja je prodavana u trgovinama kućnih ljubimaca diljem svijetu. Obzirom da crvenouhe kornjače imaju dug životni vijek te brzo prerastu terarij, često su puštene u prirodu gdje nemaju predatora, a mnogo su otpornije od naših autohtonih kornjača. Oduzimaju im hranu, napadaju ih te ih tjeraju sa sunčališta.



Slika 8: Crvenouha kornjača (ResearchGate, 2007)

6.3.3. Signalni rak (*Pacifastacus leniusculus*)

Signalni rak (Slika 9) autohtona je vrsta u Sjevernoj Americi koja se proširila Europom. U Hrvatsku je došla iz Slovenije, rijekom Murom, a nalazimo ju u Muri, Korani te Dravi. Šteti autohtonim vrstama rakova jer im oduzima hranu i stanište, a prenosi i uzročnika bolesti račje kuge *Aphanomyces astaci*. Osim što šteti autohtonim rakovima, štetu nanosi i ribama, vodozercima i beskralježnjacima, čime narušava ravnotežu hranidbene mreže. Nanosi i ekonomsku štetu jer se na području rasprostiranja ove vrste smanjuje riblji fond



Slika 9: Signalni rak (Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, 2017.)

7. Zaključak

Brz porast globalnih temperatura uzrokovan je čovjekovim djelovanjem. Klimatske promjene imaju brojne negativne posljedice na slatkovodne sustave te ne štete samo okolišu već i čovjeku koji iskorištava slatkovodne ekosustave za svoje potrebe. Slatkovodni sustavi se mijenjaju. Ako ne dođe do ublažavanja klimatskih promjena većina će močvara presušiti. Doći će do pojačanog cvjetanja u jezerima što će dovesti do još većeg pomora riba i drugih slatkovodnih organizama. Pomor riba ne šteti samo ekosustavu, već nanosi i ekonomsku štetu čovjeku koji neke vrste koristi u prehrani. Povećat će se i broj hidroelektrana u pokušaju da čovječanstvo prijeđe na obnovljive izvore energije kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova te usporio porast temperature. Time će se degradirati mnogi riječni ekosustavi te će vrste riba koje migriraju za vrijeme mrijesta izumrijeti jer se ne mogu razmnožavati. Broj invazivnih vrsta koje su unesene slučajno ili namjerno dodatno će se povećati, a moguća je i migracija vrsta iz nižih u više geografske širine kako bi pronašle hladnija staništa.

8. Literatura

1. Beebee, T. J. C. (1995). Amphibian breeding and climate change. *Nature*, 374, 219–220.
2. Bunnell DB, Ludsins SA, Knight RL et al (2021) Consequences of changing water clarity on the fish and fisheries of the Laurentian Great Lakes. *Can J Fish Aquat Sci* 78:1524–1542.
3. Carpenter, S. R., Fisher, S. G., Grimm, N. B., & Kitchell, J. F. (1992). Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 119–139.
4. Cohen JM, Lajeunesse MJ, Rohr JR (2018) A global synthesis of animal phenological responses to climate change. *Nat Clim Chang* 8:224–228.
5. Conover, D. O. (1984). Adaptive significance of temperature-dependent sex determination in a fish. *American Naturalist*, 123(3), 297–313.
6. Elser JJ, Bracken MES, Cleland EE et al (2007) Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecol Lett* 10:1135–1142.
7. Ewert, M.A., Jackson, D.R., Nelson, C.E., 1994. Patterns of temperature-dependent sex determination in turtles. *J. Exp. Zool.* 270, 3–15.
8. Fryirs K., Brierley G. (2013): *Geomorphologic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape. Catchment-scale controls on river geomorphology* str. 29-42. Wiley-Blackwell, Chichester
9. Gergel SE, Turner MG, Kratz TK (1999) Dissolved organic carbon as an indicator of the scale of watershed influence on lakes and rivers. *Ecol Appl* 9:1377–1390
10. Hassan, Birjees & Qadri, Humaira & Ali, Dr & Khan, Nissar & Yattoo, Ali. (2020). Impact of Climate Change on Freshwater Ecosystem and Its Sustainable Management. 10.1007/978-981-13-8277-2_7.
11. Jane SF, Hansen GJA, Kraemer BM et al (2021) Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature* 594:66–70.
12. Kaser, G., Hastenrath, S., & Ames, A. (1996). Mass balance profiles on tropical glaciers. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 32, 75–81.
13. Knoll LB, Williamson CE, Pilla RM et al (2018) Browning-related oxygen depletion in an oligotrophic lake. *Int Waters* 8:255–263.
14. Niemuth ND, Wangler B, Reynolds RE (2010) Spatial and temporal variation in wet area of wetlands in the Prairie Pothole Region of North Dakota and South Dakota. *Wetlands* 30:1053–1064.

15. Oerlemans, J., Anderson, B., Hubbard, A., Huybrechts, P., Johannesson, T., Krap, W. H., Schmeits, M., Stroeven, A. P., van der Wal, R. S. W., Wallinga, J., & Zuo, Z. (1998). Modeling the response of glaciers to climate warming. *Climate Dynamics*, *14*, 267–274.
16. O’Neil JM, Davis TW, Burford MA, Gobler CJ (2012) The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 14:313–334.
17. Peters-Lidard CD, Rose KC, Kiang JE et al (2021) Indicators of climate change impacts on the water cycle and water management. *Climatic Change* 165:36.
18. Riđanović J. (1993.): Hidrogeografija. Školska knjiga, Zagreb
19. Rose, K.C., Bierwagen, B., Bridgham, S.D. *et al.* Indicators of the effects of climate change on freshwater ecosystems. *Climatic Change* **176**, 23 (2023).
20. Schindler, D. W. (2001). The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *58*(18), 29.
21. Schindler, D. W., Beaty, K. G., Fee, E. J., Cruikshank, D. R., DeBruyn, E. R., Findlay, D. L., Linsey, G. A., Shearer, J. A., Stainton, M. P., & Turner, M. A. (1990). Effects of climate warming on lakes of the central boreal forest. *Science*, *250*, 967–970.
22. Shuter, B. J., & Meisner, J. D. (1992). Tools for assessing the impact of climate change on freshwater fish populations. *Geo Journal*, *28*(1), 7–20.
23. Singh, Gurudatta & Singh, Anubhuti & Singh, Priyanka & Mishra, Virendra. (2021). Impact of climate change on freshwater ecosystem. 10.1016/B978-0-12-820200-5.00017-8.
24. Stachowicz, J. J., Terwin, J. R., Whitlatch, R. B., & Osman, R. W. (2002). Linking climate change and biological invasions: Ocean warming facilitates non-indigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(24), 15497–15500.
25. Šegota T., Filipčić A. (1996.): Klimatologija za geografe. Školska knjiga, Zagreb
26. Thackeray SJ, Henrys PA, Hemming D et al (2016) Phenological sensitivity to climate across taxa and trophic levels. *Nature* 535:241–245.
27. Tyedmers, P. C., & Ward, B. (2001). A review of the impacts of climate change on BC’s freshwater fish resources and possible management responses. *Fisheries Centre Research Reports*, *9*(7), 1–12.
28. USGCRP (2018) Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II. In: Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E.

- Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 1515 pp.
29. Watras CJ, Teng HY, Latzka AW, Meyer MW, Zhang Z (2020) Near-decadal oscillation of water levels and mercury bioaccumulation in the Laurentian Great Lakes region. *Environ Sci Technol Lett* 7:89–94.
 30. Welcomme, R. L. (1979). *Fisheries ecology of flood plain rivers* (317 pp). London: Longman.
 31. While GM, Uller T (2014) Quo vadis amphibia? Global warming and breeding phenology in frogs, toads and salamanders. *Ecography (cop)* 37:921–929.
 32. Atmospheric greenhouse gas concentrations <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations> (pristupljeno 27.8.2024.)
 33. delta. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 25.8.2024. <<https://enciklopedija.hr/clanak/14434>>.
 34. estuarij. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 25.8.2024. <<https://www.enciklopedija.hr/clanak/estuarij>>.
 35. fenologija. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 29.8.2024. <<https://www.enciklopedija.hr/clanak/fenologija>>.
 36. Hidroelektrane (n.d.) <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (pristupljeno 29.8.2024.)
 37. Katalog stranih vrsta (n.d.) <https://invazivnevrste.haop.hr> (pristupljeno 29.8.2024.)
 38. Wetlands (n.d.) <https://www.wetlands.org/wetlands/> (pristupljeno 28.8.2024.)
 39. Zašto su močvarna staništa od velikog značaja (2020.) <https://voda.hr/hr/novost/zasto-su-mocvarna-stanista-od-velikog-znacaja> (pristupljeno 1.9.2024.)
 40. 8 prednosti i nedostataka hidroelektrana <https://zastita-prirode.hr/ekologija-i-okolis/analiza-hidroelektrana/> (pristupljeno 29.8.2024.)
 41. <https://mrgeogwagg.wordpress.com/2015/06/24/greenhouse-effect-and-anthropogenic-warming/> (izvor slike; pristupljeno 27.8.2024.)
 42. https://www.researchgate.net/figure/Thermal-stratification-and-temperature-profile-of-lake-in-summer-During-the-summer_fig1_381662422 (izvor slike, pristupljeno 1.9.2024.)
 43. <https://adriaticnature.me/archives/3640> (izvor slike, pristupljeno 1.9.2024.)
 44. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ejemplar-adulto-de-Trachemys-scripta-elegans-en-un-centro-de-fauna-despues-de_fig1_263849669 (izvor slike, pristupljeno 1.9.2024.)

45. <https://www.haop.hr/index.php/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/planovi-upravljanja-i-mjere-ocuvanja-9> (izvor slike, pristupljeno 1.9.2024.)

Životopis

Rođena sam 16. kolovoza 2002. godine u Offenbachu na Majni u Saveznoj Republici Njemačkoj. U Njemačkoj sam živjela pet godina te sam ondje pohađala vrtić. Danas tečno čitam, pišem i govorim njemački jezik te imam položen DSD ispit na razini C1. 2008. godine krenula sam u predškolu u Osnovnoj školi „Grigor Vitez“ Sveti Ivan Žabno. Od 2009. do 2017. pohađala sam osnovnu školu te 2017. upisala gimnaziju u Bjelovaru, program Jezična gimnazija. Osnovnu i srednju školu završila sam s odličnim uspjehom, a sudjelovala sam i na mnogim školskim i županijskim natjecanjima. Maturirala sam 2021. godine i upisala Preddiplomski sveučilišni studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, kojeg završavam ovim radom. Tokom studija uključila sam se u Udrugu studenata biologije - BIUS te sam u sklopu Sekcije za edukaciju odradila radionice Dlakavi vodič za sisavce i Zzzujavi kutak. Volontirala sam na Danu i noći PMF-a na radionici Harmonija tjelesnog termostata. U sklopu studija odradila sam dvije prakse. Aktivno koristim hrvatski, njemački i engleski jezik.