

# Rješenja temeljena na prirodi - morski ekosustavi koji doprinose ublažavanju klimatskih promjena

---

**Jurjević, Ante**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:238012>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu  
Diplomski sveučilišni studij Održivo upravljanje vodenim ekosustavima

**Ante Jurjević**

**Rješenja temeljena na prirodi - morski ekosustavi  
koji doprinose ublažavanju klimatskih promjena**

**Diplomski rad**

Zadar, 2021.

Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu  
Diplomski sveučilišni studij Održivo upravljanje vodenim ekosustavima

Rješenja temeljena na prirodi - morski ekosustavi koji  
doprinosu ublažavanju klimatskih promjena

**Diplomski rad**

Student:

Ante Jurjević

Mentorica:

Dr.sc. Ivana Zubak Čižmek

Zadar, 2021.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, Ante Jurjević, ovime izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom *Rješenja temeljena na prirodi - morski ekosustavi koji doprinose ublažavanju klimatskih promjena* rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 25. listopada 2021.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. CILJ I SVRHA RADA.....	3
3. KLIMATSKE PROMJENE .....	4
3.1. Uzroci klimatskih promjena .....	5
3.1.1. Efekt staklenika .....	6
3.2. Posljedice klimatskih promjena .....	8
3.2.1. Globalno zatopljenje .....	9
3.2.3. Ekstremni vremenski uvjeti.....	11
3.3. Moguće aktivnosti za suzbijanje klimatskih promjena .....	12
4. MORSKI EKOSUSTAVI .....	14
4.1. Raznolikost i značajke morskih ekosustava .....	14
4.2. Utjecaj klimatskih promjena na morske ekosustave .....	25
5. MORSKI EKOSUSTAVI KOJI PRIDONOSE UBLAŽAVANJU KLIMATSKIH PROMJENA.....	28
5.1. Skladištenje ugljika u morskim ekosustavima .....	30
5.2. Obalna močvarna područja.....	32
5.3. Koraljni grebeni.....	36
5.4. Alge .....	37
5.5. Fitoplankton .....	39
5.6. Morska fauna.....	41
6. ZAKLJUČAK .....	43
POPIS LITERATURE .....	45

## **Rješenja temeljena na prirodi - morski ekosustavi koji doprinose ublažavanju klimatskih promjena**

Pojačano zagrijavanje Zemljine površine uzrokovano je pretežito učinkom staklenika i nakupljanjem ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) čije povećanje koncentracije je uglavnom posljedica antropogenih aktivnosti. Promjene klime u obliku zatopljenja predstavljaju jedan od najvećih globalnih problema današnjice. Međunarodna znanstvena zajednica sve više prepoznaje ulogu prirodnih sustava u ublažavanju klimatskih promjena. Morski ekosustavi dobivaju sve veću pažnju zbog sposobnosti pohrane ugljika u biomasi organizama i posebno u sedimentu. S jedne strane to ih čini potencijalnim izvorom stakleničkih plinova ako ih se uništava, a s druge strane su dragocjeni kao prirodna rješenja za ublažavanje klimatskih promjena. Iako su šume u povijesti bile primarni fokus takvih napora, danas se naselja morskih cvjetnica, slane močvare, šume mangrova i ostali morski ekosustavi smatraju važnim i učinkovitim dugotrajnim ponorima ugljika. Međutim, u strategiju ublažavanja klimatskih promjena bi trebalo uključiti i druge komponente obalnih i morskih sustava, poput koraljnih grebena, fitoplanktona, šuma kelpa i morske faune. U ovom diplomskom radu napravljen je pregled znanstvene literature o utjecaju morskih ekosustava na uklanjanje CO<sub>2</sub> iz atmosfere te njihovom doprinosu u ublažavanju klimatskih promjena.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, morski ekosustavi, ugljik, mangrove, alge, koraljni grebeni

## **Nature-based solutions - Marine ecosystems that contribute to climate change mitigation**

The accumulation of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and the greenhouse effect, caused by anthropogenic activities are leading to increased warming of Earth's surface. This is causing climate changes and it is one of the biggest global problems of today. The international scientific community is increasingly recognizing the role of natural systems in climate change mitigation. Marine ecosystems are receiving growing attention due to the carbon they store in the biomass of organisms and sediments beneath. This characteristic makes them a potential source of greenhouse gases if they are destroyed, but at the same time, they are valuable as natural solutions for climate change mitigation. Although terrestrial forests have historically been the primary focus of such efforts, seagrass meadows, salt marshes, mangrove forests, and other marine ecosystems are now considered important and effective long-term carbon sinks. Other components of coastal and marine systems, such as coral reefs, phytoplankton, kelp forests, and marine fauna, should also be included in the climate change mitigation strategy. Here we present the review of the scientific literature on the impact of marine ecosystems on the removal of CO<sub>2</sub> from the atmosphere and their contribution to climate change mitigation.

**Key words:** climate change, marine ecosystems, carbon, mangroves, algae, coral reefs

## 1. UVOD

Zbog različitih ljudskih djelovanja dolazi do pretjeranog zagrijavanja planeta, većinom uzrokovano efektom staklenika. Rezultat istog su brojne klimatske promjene koje se posljednjih godina intenziviraju. Posljedice klimatskih promjena ogledaju se u ekstremnim vremenskim uvjetima pa je pojava suša, poplava, uragana i ostalih izvanrednih vremenskih situacija sve češća i intenzivnija. Također, povećavaju se i prosječne temperature, odnosno dolazi do globalnog zatopljenja koje ostavlja značajne posljedice na živote svih organizama te na sam planet, poput zakiseljavanja i podizanja razine mora, migracije vrsta i povećanog rizika od prijenosa bolesti koje se prenose vodom (IPCC, 2007; Lobell i sur., 2011.).

Kako bi se spriječile ili barem umanjile daljnje negativne posljedice klimatskih promjena na Zemlju potrebno je zajedničko i brzo djelovanje na različitim razinama vlasti i u različitim djelatnostima. Ipak, najvažnije je razviti svijest kod ljudi da je svaki pojedinac jednako bitan u suzbijanju posljedica te da svojim svakodnevnim navikama također tome može doprinijeti (Riedy, 2016.).

Klimatske promjene imaju značajan utjecaj na funkcioniranje ekosustava, koje tvore zajednice različitih organizama i područja na kojem obitavaju. U ekosustave spadaju i morski ekosustavi, gdje se nalaze različiti organizmi čija su područja obitavanja vezana uz ocean ili uz njegovu neposrednu blizinu. Svaki morski ekosustav razlikuje se po svojim obilježjima, a neki od njih su: abisalna ravnica, podvodno slano jezero ili bazen, antarktički ekosustav, arktički ekosustav, koraljni grebeni, hidrotermalni izvori, šume kelpa, mangrove, naselja morskih cvjetnica, otvoreni ocean, stjenovita staništa u području mediolitorala, slane močvare i blata te pješčane obale (National Geographic Society, 2020.).

Globalno zatopljenje uzrokovano je porastom temperatura i ispuštanjem velikih količina ugljičnog dioksida u atmosferu. Utjecaji prevelikog otpuštanja ugljičnog dioksida globalno su uočljivi. Svaki od morskih sustava pod utjecajem je klimatskih promjena, ali važno je naglasiti da svaki morski ekosustav može biti i izvor, ali i ponor ugljika. Jesu li pojedini morski ekosustavi korisni u suzbijanju posljedica nastalih utjecajem klimatskih promjena ovisi o mogućnostima, odnosno o količini ugljika koje oni mogu sekvstrirati (Doney i sur., 2012.).



Ugljik je iznimno važan za sav život na Zemlji, a može se podijeliti na organski i anorganski. U neživoj okolini zastupljen je u obliku CO<sub>2</sub> u atmosferi, otopljen u vodi, u karbonatnim stijenama, u fosilnim gorivima te organskoj tvari u tlu, a živa bića mogu izdvajati ugljik iz nežive okoline. Globalni ciklus ugljika može se podijeliti u dvije kategorije: geološki ciklus ugljika, koji djeluje u velikim vremenskim razmjerima (milijunima godina) i biološki, fizički ciklus ugljika, koji djeluje u kraćim vremenskim razdobljima. Ugljik u prirodi kruži zahvaljujući procesima fotosinteze, respiracije i mikrobne razgradnje organske tvari. Biološki posredovani procesi omogućavaju uklanjanje ugljičnog dioksida iz atmosfere i skladištenje ugljika u geološkim sedimentima. Razumijevanje temeljnih načela upravljanja ugljikom sve je više potrebno za djelovanje u borbi protiv klimatskih promjena (Balasubramanian, 2017.).

## **2. CILJ I SVRHA RADA**

Cilj ovog rada je pregledom literature istražiti na koji način pojedini morski ekosustavi utječu na klimatske promjene. Cilj je i istražiti jesu li morski ekosustavi izvori ili ponori ugljika te je li njihova uloga u procesu suzbijanja posljedica klimatskih promjena značajna.

Svrha rada je na temelju prikupljenih podataka zaključiti koji su to morski ekosustavi koji su od velikog značaja u ublažavanju klimatskih promjena, kako bi se poduzele radnje očuvanja i obnove istih zbog postizanja ciljeva ublažavanja klimatskih promjena.

### 3. KLIMATSKE PROMJENE

Jedan od najvećih izazova s kojima se današnji svijet susreće su klimatske promjene. Zemlja prolazi već više od jednog stoljeća kroz značajne promjene koje su posljednjih godina sve ubrzanije. Jedan od razloga prevelikog zagrijavanja Zemlje su velike količine stakleničkih plinova koje ljudi ispuštaju u atmosferu, a nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti poput korištenja nafte i plina, sječe šuma, intenzivne poljoprivrede i sl. Posljedice klimatskih promjena mogu se već sad osjetiti kroz ekstremne vremenske uvjete kao što su poplave, suše, uragani, a to su samo neki uočljivi rezultati dok oni značajniji koji bi mogli promijeniti način života u potpunosti tek slijede (Europska komisija, 2018.).

Klima se odnosi na prosjek vremenskih uvjeta u određenoj točki na Zemlji. Obično se pod pojmom klima misli na temperature, oborine i vjetar na temelju povijesnih zapažanja. Klimatske promjene su promjene prosječne klime koje traju neko duže vrijeme. Klima na Zemlji se oduvijek mijenjala. Promjene u Zemljinoj orbiti, energija Sunca, vulkanska aktivnost, geografska raspodjela kopnenih masa Zemlje i drugi unutarnji ili vanjski procesi mogu imati utjecaj na klimu. Znanstvenici ovu vrstu dugoročnih klimatskih promjena nazivaju prirodnom (Riedy, 2016.).

Kao rezultat tih prirodnih klimatskih promjena, Zemlja je u prošlosti imala redovita hladna razdoblja poznata kao ledena doba, za vrijeme kojih su ledenjaci prekrivali velike dijelove površine. Zemlja je također doživjela toplija razdoblja u kojima je razina mora bila mnogo viša nego trenutno. U dugogodišnjoj povijesti Zemlje, sadašnje razdoblje karakterizira relativno topla, stabilna klima koja traje od kraja posljednjeg ledenog doba prije oko 12 tisuća godina. Znanstvena opažanja i modeli ukazuju na to da se klima na Zemlji sada mijenja zbog ljudske aktivnosti te se takve promjene nazivaju antropogenim klimatskim promjenama. Uključeni procesi su složeni, ali se mogu sažeti na sljedeći način: ljudske aktivnosti, poput sagorijevanja fosilnih goriva kao što su ugljen, nafta i prirodni plin za proizvodnju električne energije i pogona vozila, krčenje šuma za poljoprivredu i gradove te uzgoj stoke, ispuštaju stakleničke plinove u atmosferu (Riedy, 2016.); ti se plinovi akumuliraju u atmosferi i dopuštaju zračenju Sunca da prođe do površine Zemlje, ali zadržavaju dio topline koja zrači natrag sa Zemlje. Navedeni proces naziva se efekt staklenika jer je princip sličan stakleniku, gdje stakleni krov propušta sunčevu svjetlost, ali zadržava toplinu za uzgoj biljaka. S vremenom pojačani učinak staklenika rezultira globalnim zagrijavanjem, odnosno povećanjem Zemljine prosječne

temperature. Globalno zatopljenje jedna je od varijabli klimatskih promjena i potiče druge klimatske promjene, poput promjena u obrascima padalina i učestalosti i raspodjeli vremenskih događaja kao što su suše, oluje, poplave i toplinski valovi. Iako se pojmovi klimatske promjene i globalno zatopljenje često koriste istovjetno, klimatske promjene su širi pojam koji uključuje i globalno zatopljenje i druge uočene promjene klime. Mnogi znanstvenici tvrde da će utjecaji klimatskih promjena biti razorni za prirodne i ljudske sustave te da klimatske promjene predstavljaju egzistencijalnu prijetnju ljudskoj civilizaciji (Riedy, 2016.).

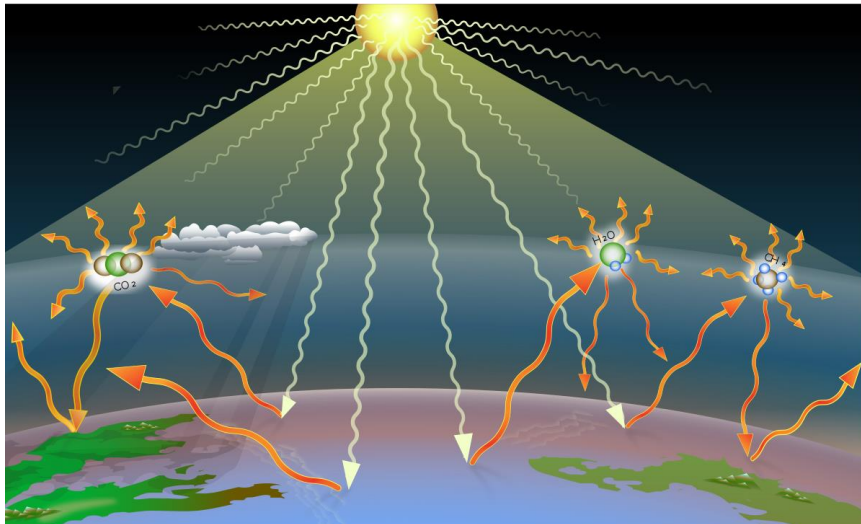
### **3.1. Uzroci klimatskih promjena**

Glavni uzrok zbog kojeg dolazi do klimatskih promjena su staklenički plinovi. Oni uključuju ugljični dioksid, metan, dušikove okside, a u nekim slučajevima i spojeve koji sadrže klor i brom. Nakupljanje ovih plinova u atmosferi mijenja radijacijsku ravnotežu u atmosferi. Njihov ukupni učinak je zagrijavanje Zemljine površine i donje atmosfere jer staklenički plinovi apsorbiraju dio odlazećeg zračenja Zemlje i ponovno ga zrače prema površini (Shahzad, 2015.).

Drugi uzrok globalnog zatopljenja je iscrpljivanje ozonskog omotača. To se uglavnom događa zbog prisutnosti plinova koji sadrže klor. Kad je prisutno ultraljubičasto svjetlo, navedeni plinovi disociraju, oslobađajući pri tom atome klora koji zatim kataliziraju uništavanje ozona (Shahzad, 2015.). Aerosoli prisutni u atmosferi također uzrokuju globalno zagrijavanje promjenom klime na dva različita načina. Prvo, raspršuju i apsorbiraju sunčevo i infracrveno zračenje, a drugo, mogu promijeniti mikrofizička i kemijska svojstva oblaka i možda utjecati na njihov vijek trajanja i opseg. Raspršivanje sunčevog zračenja hladi planet, dok apsorpcija sunčevog zračenja aerosolima izravno zagrijava zrak umjesto da dopušta apsorpciju sunčeve svjetlosti na površini Zemlje. Ljudski doprinos količini aerosola u atmosferi je različitih oblika. Na primjer, prašina je nusprodukt poljoprivrede. Sagorijevanjem biomase nastaje mješavina organskih kapljica i čestica čađe. Mnogi industrijski procesi proizvode raznolike aerosole, ovisno o tome što se spaljuje ili stvara u proizvodnom procesu. Štoviše, emisije ispušnih plinova iz raznih vrsta transporta proizvode bogatu mješavinu zagađivača koji su ili aerosoli od samog početka ili se kemijskim reakcijama u atmosferi pretvaraju u aerosole (Shahzad, 2015.).

### 3.1.1. Efekt staklenika

Sunce služi kao primarni izvor energije za Zemlju. Dio dolazne sunčeve svjetlosti reflektira se izravno u svemir, osobito na svijetlim površinama poput leda i oblaka (albedo), a ostatak apsorbiraju površina i atmosfera. Veći dio ove apsorbirane solarne energije ponovno se emitira kao toplina. Atmosfera zauzvrat apsorbira i ponovno zrači toplinu, dio koje odlazi u svemir. Svaki poremećaj ove ravnoteže dolazne i odlazne energije ima utjecaj na klimu. Kada bi sva toplinska energija emitirana s površine prolazila kroz atmosferu izravno u svemir, prosječna površinska temperatura Zemlje bila bi desetke stupnjeva hladnija nego danas (US National Academy of Science, 2020.).



Slika 1. Prikaz efekta staklenika

Izvor: Internetska stranica Solar Energy Industries Association.

Staklenički plinovi u atmosferi, uključujući vodenu paru, ugljični dioksid, metan i dušikov oksid, djeluju tako da čine površinu mnogo toplijom jer apsorbiraju i emitiraju toplinsku energiju u svim smjerovima, uključujući prema dolje, održavajući toplinu površine Zemlje i donje atmosfere. Bez ovog efekta staklenika, život kakav poznajemo ne bi se mogao razviti (Slika 1.). Dodavanjem više stakleničkih plinova u atmosferu dolazi do još većeg sprječavanja izlaska topline u svemir. Kad je energija na izlazu manja od energije koja se unosi, Zemlja se zagrijava sve dok se ne uspostavi nova ravnoteža. Staklenički plinovi koji nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti mijenjaju Zemljinu energetska ravnotežu, a time i klimu.

Ljudi također utječu na klimu promjenom prirode kopnenih površina i emisijom onečišćujućih tvari koje utječu na količinu i vrstu čestica u atmosferi. Znanstvenici su utvrdili da je, kad se uzmu u obzir svi ljudski i prirodni čimbenici, klimatska ravnoteža Zemlje promijenjena prema zatopljenju, pri čemu je najveći doprinos tome dala povećana koncentracija CO<sub>2</sub> (US National Academy of Science, 2020.). Većina stakleničkih plinova nastaje prirodno. Međutim, od industrijske revolucije u 18. stoljeću i ljudsko društvo proizvodi stakleničke plinove u sve većim količinama. Zbog toga su njihove koncentracije u atmosferi sada veće nego u bilo kojem trenutku u posljednjih 650.000 godina. Oni jačaju efekt staklenika što znači porast temperature na Zemlji, što zatim uzrokuje promjenu klime (Europska komisija, 2009.).

Glavni staklenički plin koji nastaje ljudskim aktivnostima je ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>). On čini 82% svih emisija stakleničkih plinova iz 27 zemalja članica Europske unije. Ugljični dioksid oslobađa se pri sagorijevanju fosilnih goriva - ugljena, nafte i zemnog plina – koji su i dalje najčešći izvor energije.

Ugljični dioksid je od vitalnog značaja za proces disanja: unosimo kisik i izdišemo ugljični dioksid, dok bilje, alge i fitoplankton apsorbiraju CO<sub>2</sub> u procesu fotosinteze. Kada se fotosintetski organizmi poput šuma uništavaju (sijeku ili spaljuju), ispuštaju CO<sub>2</sub> u atmosferu. Procjenjuje se da krčenje šuma uzrokuje oko 20% globalnih emisija stakleničkih plinova pa je zaustavljanje ovog procesa važan prioritet (Europska komisija, 2009.).

Ostali staklenički plinovi koji nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti su metan i dušikov oksid. Nastaju na odlagalištima otpada, kao i pri uzgoju stoke, uzgoju riže i određenih metoda gnojidbe obradivog zemljišta. Također u današnjem svijetu se proizvode i neki umjetni staklenički plinovi, takozvani fluorirani plinovi koji se koriste u rashladnim sustavima, klimatizacijskim sustavima, itd. Oni mogu pronaći svoj put u atmosferu curenjem iz sustava i ako se s aparatima ne postupa pravilno kada postanu otpad (Europska komisija, 2009.).

## 3.2. Posljedice klimatskih promjena

Globalno zagrijavanje vjerojatno će biti najveći uzrok izumiranja vrsta u ovom stoljeću. Izvješće IPCC-a<sup>1</sup> pokazuje da bi porast od 1,5 °C mogao dovesti 20-30% vrsta u opasnost od izumiranja. Ako se planet zagrije za više od 2 °C, većina ekosustava će se naći u problemu (IPCC, 2018.).

Mnoge ugrožene vrste u svijetu žive u područjima koja će biti ozbiljno pogođena klimatskim promjenama. Klimatske promjene događaju se prebrzo da bi se mnoge vrste prilagodile, a najizraženije su u polarnim regijama. Sjeverni i južni kraj Zemlje ključni su za regulaciju klime našeg planeta i posebno su osjetljivi na utjecaje globalnog zatopljenja, koje ima globalne posljedice. Prosječne temperature zraka u regiji Arktika porasle su za oko 5 °C u posljednjih 100 godina. Najnoviji podaci pokazuju da u sljedećih nekoliko desetljeća na Arktiku neće ostati gotovo nikakav ljetni ledeni pokrov. Učinci se neće osjetiti samo na staništima i vrstama koje se oslanjaju na ovo područje, već će biti dramatične na cijeloj sjevernoj hemisferi (NASA, 2017.).

Ledena ploča Antarktike najveća je pojedinačna masa leda na zemlji, koja čini oko 90% svježe slatke vode na površini Zemlje i prostire se na gotovo 14 milijuna četvornih kilometara. Ovaj led igra vitalnu ulogu u utjecaju na svjetsku klimu, reflektirajući sunčevu energiju i pomažući u regulaciji globalnih temperatura. Dijelovi zapadnog antarktičkog poluotoka spadaju među najbrže zagrijavajuća mjesta na svijetu. Čak će i topljenje malih razmjera vjerojatno imati značajne učinke na globalno povećanje razine mora. Smrznuta područja leda i snijega vitalni su za održavanje Zemljine ravnoteže reflektiranjem sunčeve svjetlosti natrag u svemir. No s klimatskim promjenama, led, snijeg i mraz se tope pa tako tamne površine koje ostavlja iza sebe apsorbiraju toplinu umjesto da je reflektiraju, što bi moglo poremetiti ravnotežu (NASA, 2017.).

Osim ledenjaka, promjene su vidljive i na oceanima. Oceani su vitalni "ponori ugljika", što znači da apsorbiraju značajne količine ugljičnog dioksida, sprječavajući ga da dospije u atmosferu. Povišene temperature vode i veće koncentracije ugljičnog dioksida od normalnih, koje oceane čine kiselijima, već imaju utjecaj na oceane. Oceani, naime, već doživljavaju velike

---

<sup>1</sup> IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change ( Međuvladin panel o klimatskim promjenama) je nastao 1988. godine na poticaj UN-a, Svjetske meteorološke organizacije i Programa za okoliš UN-a kako bi se procijenjivao rizik od klimatskih promjena uzrokovanih ljudskom aktivnošću.

promjene pri zagrijavanju od 1 °C, a očekuje se da će kritični pragovi biti dostignuti na 1,5 °C i više. Predviđa se da će se koraljni grebeni smanjiti za dodatnih 70-90% pri povišenju temperature za 1,5 °C. Pri zagrijavanju od 2 °C gotovo svi koraljni grebeni će biti izgubljeni. To nije samo tragedija za divlje životinje jer se oko pola milijarde ljudi oslanja na ribu iz koraljnih grebena kao glavni izvor proteina (WWF, 2021.).

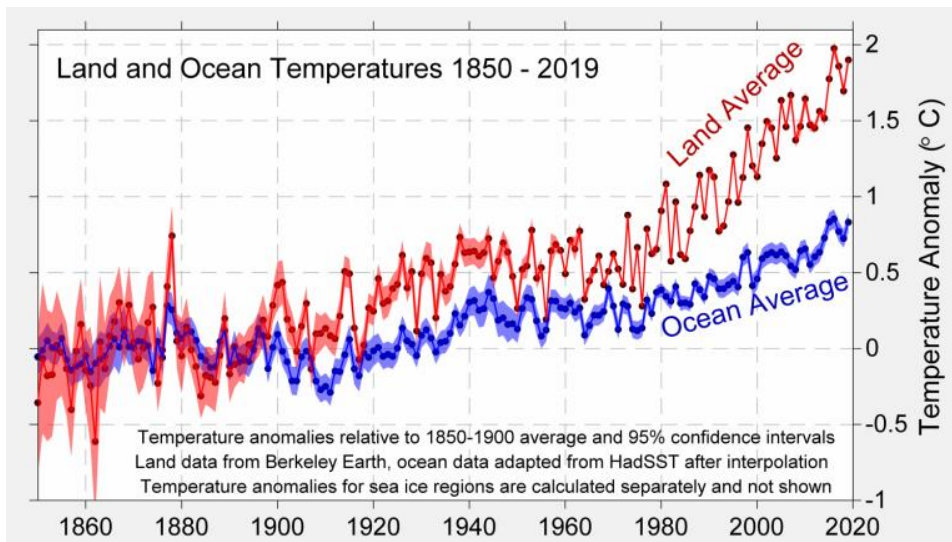
Šume su od vitalnog značaja jer upijaju ugljični dioksid, glavni staklenički plin odgovoran za globalno zatopljenje i pomažu u regulaciji svjetske klime. Također su dom brojnim biljnim i životinjskim vrstama. Učinci se razlikuju u različitim vrstama šuma. Podarktičke borealne šume vjerojatno će biti posebno teško pogođene, postupno se povlače prema sjeveru s porastom temperature. U tropskim šumama poput Amazone, gdje postoji velika biološka raznolikost, čak i umjerene razine klimatskih promjena mogu uzrokovati visoku razinu izumiranja. Klimatske promjene imaju ozbiljan utjecaj na svjetske vodene sustave zbog većih poplava i suša. Topliji zrak može zadržati veći sadržaj vode, što uzorak padalina čini ekstremnijim. Rijeke i jezera opskrbljuju pitkom vodom ljude i životinje te su vitalni resurs za poljoprivredu i industriju. Slatkovodni okoliš diljem svijeta već je pod pretjeranim pritiskom odvodnje, drenaža, brana, zagađenja, vađenja, zamuljivanja i invazivnih vrsta. Klimatske promjene samo pogoršavaju problem i čine ga još gorim. Ekstremi suša i poplava postat će sve češći, uzrokujući raseljavanje i sukobe (WWF, 2021.).

### **3.2.1. Globalno zatopljenje**

Već je objašnjeno kako i zašto dolazi do efekta staklenika. Dilema oko globalnog zatopljenja započela je kada je čovječanstvo umjetno povećalo koncentraciju stakleničkih plinova u atmosferi alarmantnom brzinom u posljednja dva stoljeća. Od 2004. godine više od 8 milijardi tona ugljičnog dioksida je ispušteno, a nedavna zapažanja u vezi s globalnim zatopljenjem potkrijepila su teoriju da se radi o ljudskom pojačanom efektu koji uzrokuje zagrijavanje planeta. Planet je doživio najveći porast površinske temperature u posljednjih 100 godina. Između 1906. i 2006., prosječna temperatura Zemlje povećala se između 0,6 do 0,9 stupnjeva Celzijusa, međutim u posljednjih 50 godina stopa porasta temperature skoro se udvostručila (Slika 2.). Razina mora pokazala je porast od oko 0,17 metara tijekom 20. stoljeća. Opseg arktičkog morskog leda stalno se smanjivao za 2,7 % po desetljeću od 1978. godine.



Prema IPCC-u, razine ugljičnog dioksida i metana porasle su za 35 % i 148 % od industrijske revolucije 1750. godine (Shahzad, 2015.).



Slika 2. Prikaz porasta temperature na kopnu i oceanu u razdoblju od 1850. – 2019.

Izvor: Internetska stranica Berkeley Earth.

Važno je naglasiti kako globalno zatopljenje može ozbiljno utjecati na zdravlje živih bića. Prekomjerna toplina može uzrokovati stres koji može dovesti do poremećaja krvnog tlaka i bolesti srca. Nedostaci usjeva i glad, koji su izravna posljedica zagrijavanja Zemlje, mogu uzrokovati pad otpornosti ljudskog tijela na viruse i infekcije. Globalno zatopljenje također može prenijeti različite bolesti u druge regije jer će se ljudi premjestiti iz regija s višim temperaturama u regije s relativno nižim temperaturama. Topliji oceani i druge površinske vode mogu dovesti do ozbiljnih izbijanja kolere i štetnih infekcija u nekim vrstama morske hrane (Shahzad, 2015.).

Globalno zagrijavanje utječe i na životinje. Moraju se preseliti na hladnija mjesta kako bi preživjeli. Taj je proces primijećen na raznim mjestima, na primjer, u Alpama, u planinskom Queenslandu u Australiji i u maglovitim šumama Kostarike. Zabilježeno je i da se ribe u Sjevernom moru kreću prema sjeveru. Utjecaji na vrste postaju vrijedni pažnje do te mjere da se njihovo kretanje može koristiti kao znak zagrijavanja svijeta. Oni su nijemi svjedoci brzih promjena na Zemlji. Znanstvenici i istraživači predviđaju da globalno zatopljenje postupno oštećuje ekosustave različitih vrsta i igra vrlo nekonstruktivnu ulogu u njihovom izumiranju (Shahzad, 2015.).

### 3.2.3. Ekstremni vremenski uvjeti

Donja granica Zemljine atmosfere postaje s vremenom sve toplija i vlažnija upravo zbog emisije stakleničkih plinova uzrokovanih ljudima. To potiče stvaranje više energije za oluje i određene ekstremne vremenske događaje. U skladu s teorijskim očekivanjima, sve je vjerojatnije da će se zbiti problemi koji su povezani s temperaturom, poput izrazito vrućih dana. Jake oborine i snježne padaline, koje povećavaju rizik od poplava, također su općenito sve učestalije. Kako se Zemljina klima postepeno zagrijavala, diljem svijeta primijećeni su sve učestaliji i intenzivniji ekstremni vremenski događaji. Znanstvenici obično vremenske događaje kao smatraju ekstremnima ako se razlikuju od 90% ili 95% vremenskih događaja koji su se prije dogodili u istoj regiji. Mnogi čimbenici doprinose svakom pojedinačnom ekstremnom vremenskom događaju, uključujući obrasce prirodne varijabilnosti klime, poput El Niña i La Niña zbog čega je izazov pripisati bilo koji ekstremni događaj klimatskim promjenama uzrokovanim ljudima (US National Academy of Science, 2020.).

Zagrijavanje klime može pridonijeti intenzitetu toplinskih valova povećavajući šanse za vrlo vruće dane i noći. Zagrijavanje klime također povećava isparavanje na kopnu, što može pogoršati sušu i stvoriti uvjete sklonije požarima. Zagrijavanje atmosfere povezano je i s jačim oborinskim događajima, poput kiša i snježnih oluja, kroz povećanje sposobnosti zraka da zadrži vlagu. Događaji u El Niņu pogoduju suši u mnogim tropskim i suptropskim kopnenim područjima, dok događaji u La Niñi promiču vlažnije uvjete na mnogim mjestima. Očekuje se da će ove kratkotrajne i regionalne varijacije postati ekstremnije u zagrijavajućoj klimi. Toplija i vlažnija Zemljina atmosfera i topliji oceani čine vjerojatnim da će najjači uragani biti intenzivniji, da će proizvesti više oborina, utjecati na nova područja, a možda i biti veći i dugovječniji. Porast razine mora povećava količinu morske vode koja se izbacuje na obalu tijekom obalnih oluja, što, uz više oborina koje proizvedu oluje, može rezultirati razornijim olujnim udarima i poplavama. Iako globalno zatopljenje vjerojatno čini uragane sve intenzivnijima, promjena u broju uragana svake godine prilično je neizvjesna. To ostaje predmet stalnog istraživanja. Očekuje se da će se neki uvjeti povoljni za jake oluje s pojavom tornada povećati sa zagrijavanjem, ali postoje nesigurnosti u drugim čimbenicima koji utječu na stvaranje tornada, poput promjena okomitih i vodoravnih varijacija vjetrova (US National Academy of Science, 2020.).

Globalno zatopljenje velika je opasnost i potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere za rješavanje tog problema. To ne uzrokuje samo probleme ljudima, već i životinjama i biljkama. Otapanje polarnih ledenjaka dovest će do poplava koje mogu izazvati probleme posvuda. Povišenje razine mora uništiti će poljoprivredne i ribolovne aktivnosti. Kako bi se spriječilo i umanjilo posljedice, potrebno je pravodobno poduzeti neke korake, poput korištenje obnovljivih izvora energije ili zaustavljanje krčenja šuma, a potrebna su i inovativna rješenja (US National Academy of Science, 2020.).

### **3.3. Moguće aktivnosti za suzbijanje klimatskih promjena**

U Europi se posljednja dva desetljeća bilježi čak 18 najtoplijih godina što je dovelo do iznimnih vrućina u posljednjih 4 od 5 godina. Porast od 5 °C toplijih temperatura iznad Arktika rezultiralo je gubitkom leda i negativnim utjecajem na bioraznolikost nordijskih zemalja. Osim toga dovelo je i do jakih suša, poplava, uragana, a to je izazvalo masovna razaranja i ekonomske štete (WWF, 2021.).

Predviđanja su da ukoliko se ne poduzmu nikakve mjere glede suzbijanja klimatskih promjena da će trenutni trendovi porasti temperatura za 0,2 °C po desetljeću, dovesti do porasti globalnih temperatura za 2 °C do 2060. godine. Ako se to dogodi, učinci klimatskih promjena će se pogoršati u cijelom svijetu. Na primjer, 99% koraljnih grebena moglo bi nestati, te bi moglo doći do gubitka ledene ploče Grenlanda što bi rezultiralo povećanjem razine mora od sedam metara i time radikalno utjecalo na obalna područja. Posljedice bi bile vidljive i na globalnom gospodarstvu, infrastrukturi, proizvodnji hrane, javnom zdravstvu, bioraznolikosti te političkoj stabilnosti. Stoga su potrebne mjere kako bi se porast globalnih temperatura ograničio na 1,5 °C kako bi se izbjegle ekstremne klimatske promjene (Europska komisija, 2019.)

Neke od mjera predložila je Europska komisija, a one su:

- maksimizirati prednosti energetske učinkovitosti, uključujući zgrade s nultom emisijom;
- maksimizirati korištenje obnovljivih izvora energije i korištenje električne energije za potpunu dekarbonizaciju opskrbe energijom;
- prihvatiti čistu, sigurnu i povezanu mobilnost – koristiti transport s nultom emisijom;

- konkurentna industrija i kružno gospodarstvo kao ključni pokretač smanjenja emisija stakleničkih plinova,
- razviti odgovarajuću pametnu infrastrukturu koja osigurava optimalnu međusobnu povezanost;
- iskoristiti sve prednosti bioekonomije i stvoriti bitne ponore ugljika;
- riješiti preostalu emisiju CO<sub>2</sub> pomoću skupljanja i skladištenja ugljika (CCS) (US Public Health Institute, 2016.).

Klimatska rješenja spadaju u dvije velike kategorije: ublažavanje i prilagođavanje. Sve češće vlade i organizacije u zajednici također govore o mjerama za povećanje otpornosti na klimu. Ovi pojmovi nisu različiti i svi su međusobno povezani. Iz Projekta istraživanja globalnih promjena (USGCRP, 2016.) objašnjavaju se na sljedeći način:

- Ublažavanje se odnosi na mjere za smanjenje količine i brzine budućih klimatskih promjena smanjenjem emisija plinova koji zadržavaju toplinu ili uklanjanjem ugljičnog dioksida iz atmosfere.
- Prilagodba se odnosi na mjere poduzete kako bi se smanjili štetni utjecaji klimatskih promjena ili iskoristile sve korisne prilike kroz prilagodbe u prirodnim ili ljudskim sustavima.
- Otpornost znači sposobnost predviđanja, pripreme, odgovora i oporavka od značajnih prijetnji uz minimalnu štetu po društvenu dobrobit, gospodarstvo i okoliš (US Public Health Institute, 2016.).

Osim navedenih smjernica koje su većinom odnose na aktivnosti službenih i odgovornih tijela, građani su također odgovorni i mogu uvelike sudjelovati u smanjenju klimatskih promjena. Potrošači imaju važnu ulogu u pokretanju transformacije. Izbor pojedinca utječe na količinu štetnih elemenata, bilo da se radi o kupnji kuće, prehrani ili kupnji automobila. Gradovi su laboratoriji za transformativna i održiva rješenja. Obnova grada i prostorno planiranje mogu biti pokretači obnove kuća i privlačenja više ljudi da žive bliže poslu, poboljšavaju životne uvjete, smanjuju vrijeme putovanja i povezane stresove. Dakle, morat će se izgraditi i javna infrastruktura kako bi se izdržale posljedice klimatskih promjena (US Public Health Institute, 2016.).

## **4. MORSKI EKOSUSTAVI**

Ekosustav, kao termin, odnosi se na geografsko područje bilo koje veličine, a koje se sastoji od zajednica organizama i njihovog okoliša te gdje su biološke i energetske interakcije veće unutar nego sa susjednim ekosustavima (Zhao i Costello, 2019.)

Morski ekosustavi vodeno su okruženje s visokom razinom otopljene soli, poput onih koje se nalaze u oceanu ili blizu njega. Morski ekosustavi definirani su jedinstvenim biotičkim (živim) i abiotičkim (neživim) čimbenicima. Biotički čimbenici uključuju prisutne biljke, alge, gljive, životinje i mikrobe te njihove međusobne odnose; važni abiotički čimbenici uključuju količinu sunčeve svjetlosti u ekosustavu, količinu kisika i hranjivih tvari otopljenih u vodi, blizinu kopna, dubinu i temperaturu, između ostalog (National Geographic Society, 2020.).

Sunčeva svjetlost jedan je od najvažnijih abiotičkih čimbenika za morske ekosustave. Toliko je važna da znanstvenici klasificiraju dijelove morskih ekosustava prema količini svjetlosti koju primaju. Najplići dio morskog ekosustava je eufotična zona, koja se proteže do 200 metara ispod površine te na ovoj dubini ima dovoljno svjetla za redovitu fotosintetsku aktivnost. Većina morskog života nastanjuje ovu zonu. Ispod eufotične zone nalazi se disfotična zona koja može doseći od 200 do čak 1.000 metara ispod površine. Na tim dubinama sunčeva svjetlost je još uvijek dostupna, ali nedovoljno da bi došlo do fotosinteze. Ispod disfotične zone nalazi se afotična zona koja ne dobiva nikakvu sunčevu svjetlost (National Geographic Society, 2020.).

### **4.1. Raznolikost i značajke morskih ekosustava**

Morski ekosustavi zauzimaju određena područja unutar oceana. Neki su produktivna priobalna područja, uključujući ušća rijeka, slane močvare i šume mangrova dok su drugi slabo produktivni, poput dna oceana. Hidrosfera povezuje sve slatkovodne i slane vodene sustave. Visok sadržaj soli, odnosno, salinitet i globalna cirkulacija čine morske ekosustave drugačijima od drugih vodenih ekosustava. Drugi fizički čimbenici koji određuju raspodjelu morskih ekosustava su geologija, temperatura, plima i oseka, dostupnost svjetla i zemljopis. Neki morski ekosustavi svakodnevno prolaze kroz ekstremne promjene temperature, dostupnosti svjetla, razine kisika i drugih čimbenika dok su drugi prilično stabilni i samo se malo mijenjaju u

različitim godišnjim dobima. Organizmi koji nastanjuju različita morska područja raznoliki su kao i sama staništa te moraju biti visoko prilagođeni fizičkim uvjetima u kojima žive (National Geographic Society, 2020.).

Abisalna ravnica je jedno od najmanje istraženih područja Zemlje. Proteže se uz dno oceana između podnožja kontinentalnog uspona i grebena srednjeg oceana, a nalazi se na dubinama između 3.000 i 6.000 metara. Visoki tlak, ekstremna hladnoća, niske razine kisika i oskudna dostupnost hrane neke su od karakteristika ovog ekosustava. Usprkos ekstremnim uvjetima, istraživanja su pokazala da abisalna ravnica može uključivati nekoliko različitih zajednica organizama. To se odnosi na dubokomorske koralje, ostatke kitova i podvodne slane bazene (National Geographic Society, 2020.).

Nekada se smatralo da je antarktički ekosustav južnog oceana prilično oskudan životom zbog ledenog pokrova i izrazito niskih temperatura. Izlaganje sunčevoj svjetlosti na Antarktici, ovisno o danu u godini, kreće se od 0 do 24 sata u jednom danu. Ovi uvjeti čine Antarktiku surovim okolišem. Međutim, istraživanja su pokazala da su vode Antarktike visoko produktivne i podržavaju raznolik niz morskih organizama. Antarktička prehrambena mreža najjednostavnija je na Zemlji i temelji se na jednoj ključnoj vrsti - krilu, odnosno planktonskim račićima. Procjenjuje se da južni ocean sadrži 500 milijuna tona krila. Kitovi, tuljani, pingvini na Antarktici, albatrosi, riba i lignje ovise o prisutnosti planktonskih račića koji osiguravaju funkcioniranje hranidbene mreže. Kril se hrani fitoplanktonom kojeg u velikim količinama nalazi u naslagama leda. Hladnije zime znače više leda i više mikroskopskih algi. Ukoliko ne bi imali dovoljno algi za prehranu, kril bi mogao uginuti i tako stvoriti lančanu reakciju u cijelom prehrambenom lancu. Istraživači su zabrinuti da globalno zatopljenje i smanjenje količine leda prijeti krhkom antarktičkom ekosustavu koji toliko ovisi o jednoj vrsti (National Geographic Society, 2020.).

Arktički ekosustav sjeverne polarne regije karakterizira ekstremna sezonalnost svjetla i cjelogodišnji ledeni pokrivač. Ipak, različiti niz visoko prilagođenih organizama tamo uspijeva živjeti. Vrste arktičkog oceana rasprostranjene su duž vodenog stupca, unutar leda i na morskom dnu. Mnogočetašni, kopepodni račići, bakterije i fitoplankton žive u porama i kanalima leda te na granici leda i vode. Oni čine osnovu arktičke prehrambene mreže. Arktičko morsko dno sastoji se od brojnih beskralježnjaka, uključujući morske zvjezdače, spužve, mekušce, rakove i moruzgve. U manjim dubinama gdje je dostupna sunčeva svjetlost, nalaze se i makrofiti odnosno velike alge. Fitoplankton, kopepodi i drugi zooplankton, meduze i ribe nalaze se u vodenom stupcu između arktičkog morskog dna i leda. Arktički ekosustav sadrži

visoko prilagođene vrste i složenu prehrambenu mrežu, ali je krhki ekosustav osjetljiv na prijetnje zbog klimatskih promjena, smanjenog ledenog pokrivača i utjecaja ljudi (National Geographic Society, 2020.).

Koraljni grebeni (Slika 3.) prvenstveno se pojavljuju u toplim tropskim i suptropskim regijama oceana, ali neki koralji mogu živjeti i u hladnijim, dubljim vodama. Koralji se mogu klasificirati kao tvrdi (kameni) ili meki (kožasti), a čine ih najčešće kolonije polipa, iako mogu biti i solitarni. Koraljni grebeni masivne su vapnenačke strukture koje pružaju hranu i sklonište morskom životu. Tvrdi koralji odgovorni su za veći dio čvrstog, vapnenačkog (izgrađenog od kalcijeveg karbonata) okvira grebena. Građeni stotinama pa i tisućama godina, neki su koraljni grebeni toliko veliki da se mogu vidjeti iz svemira (CORAL, 2003.). U vapnenačkom okviru koraljnih grebena i oko njega živi složen niz biljaka i životinja. Neki od njih, poput koraligenih algi, pomažu u izgradnji grebena. Drugi, poput mnogočetinaša, riba, ježinaca i spužvi, razgrađuju ih. Mnoge druge životinje, uključujući više od 4000 različitih vrsta riba, nalaze utočište na grebenu i on predstavlja njihovo stanište. Upravo to zajedništvo svih života naziva se koraljnim grebenom. Koralji koji tvore grebene imaju simbiotske zooksantele koje im pomažu osigurati dovoljnu količinu hrane u okolišu siromašnom hranjivim tvarima i bez njih brzo propadaju – zbog ekstremnih temperatura i zakiseljavanja izbacuju zooksantele i izbljeđuju nakon čega postaju slabi i ugibaju. Životinje koraljnih grebena koegzistiraju u složenim odnosima, ali ako se jedna vrsta na koraljnom grebenu ukloni ili izumre od utjecaja ljudi poput prekomjernog ribolova, njezin nestanak može imati dalekosežne posljedice za cijeli koraljni greben, a ravnoteža ekosustava može se dramatično promijeniti (CORAL, 2003.).



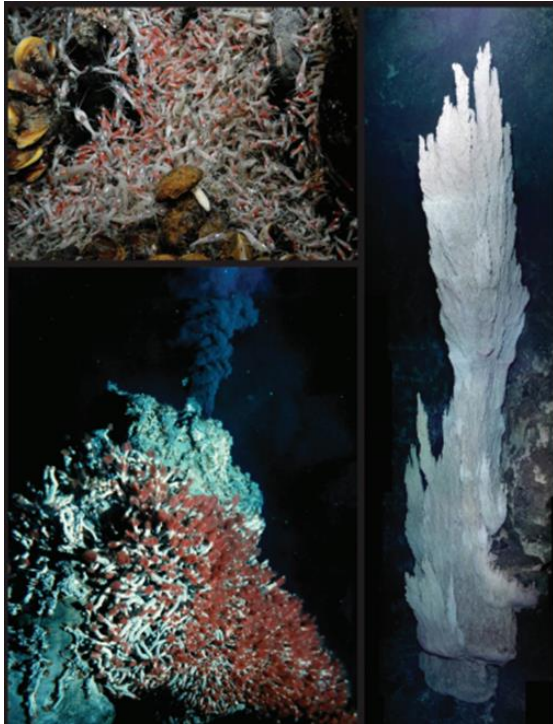
### Slika 3. Tropski koraljni greben

Izvor: Internetska stranica Sailing Europe.

Ekosustav koji obuhvaća duboko more pokriva ogromnu zonu otvorenog oceana koja je ispod 200 metara dubine. Ovaj ekosustav sadrži 98% cjelokupnog životnog prostora na Zemlji, a karakterizira ga prodor malo ili nimalo svjetlosti, visoki tlak, ekstremna hladnoća, niske razine kisika i oskudna dostupnost hrane. Duboko more manje je produktivno i naseljeno od ostalih morskih ekosustava. Nedostatak svjetla za fotosintezu rezultira prehrambenom mrežom koja ovisi o ostacima uginulih organizama i organskoj tvari koja tone iz plićih slojeva oceana. Nekoliko je organizama dobro prilagođeno za opstanak u dubokom moru. Kako bi vidjeli u mraku i pronašli hranu i partnera za razmnožavanje, mnogi organizmi koriste bioluminiscenciju (meduze, lignje, grdobine) ili imaju velike oči (lignje, hobotnice) i snažan njuh (riba). Mnoge ribe i beskralježnjaci skrivaju se od predatora jer su crne, srebrne, crvene ili prozirne boje. Srebrni ili bioluminiscentni organizmi koriste svoju boju kako bi uplašili ili zbunili predatore, a njihova obojenost također im pomaže u komunikaciji sa svojom vrstom. Mnogi organizmi imaju mekanu, fleksibilnu tjelesnu strukturu pa zato mogu podnijeti visoke pritiske dubokog mora. Iako je dosta teško pristupiti i istražiti duboko more, znanstvenici vjeruju da postoji još mnogo dubokomorskih organizama koje treba otkriti (National Geographic Society, 2020.).

Hidrotermalni izvori prikazani na Slici 4., oaze su života u dubokom moru. Oni nastaju tamo gdje se topla voda i plinovi ispod morskog dna miješaju s vodom i plinovima iz gornjeg oceana. Obično se hidrotermalni otvori nalaze na dnu mora duž grebena srednjeg oceana, gdje magma iz plašta dolazi u bliski kontakt s oceanskom korom zbog tektonskih ploča koje se šire. Međutim, hidrotermalni izvori otkriveni su tek prije 45 godina, a istraženo je manje od 1% morskog dna, pa je njihova globalna rasprostranjenost još uvijek vrlo nepoznata. Oni mogu oblikovati tzv. crne ili bijele dimnjake. Hidrotermalni dimnjaci koji ispuštaju toplu vodu na dnu mora samo su najekstremnija manifestacija hidrotermalnog toka. Iako neki hidrotermalni otvori mogu ispuštati vodu koja je previše vruća za život, svaki hidrotermalni sustav ima toplinski gradijent koji obuhvaća i vrlo vruće hidrotermalne tekućine, ali i sve do hladne morske vode (Brazelton, 2017.).





Slika 4. Prikaz hidratermalnih izvora

Izvor: Internetska stranica University of Washington.

Morske cvjetnice čine važne podvodne ekosustave obalnih mora i estuarija na svim kontinentima, osim na Antarktici. Ekosustavi morskih cvjetnica su vrlo produktivni, pružaju hranu, stanište i rasadnik su za brojne vrste kralježnjaka i beskrležnjaka. Visoka biološka raznolikost i osjetljivost na promjene u kvaliteti vode svojstvene zajednicama morskih cvjetnica čini ih važnom vrstom za ukupno zdravlje obalnih ekosustava. Područja oceanskog dna kojima nedostaje morskih cvjetnica, osjetljiva su na intenzivno djelovanje valova, struja i oluja. Dok neki organizmi hranu uzimaju izravno s morskih cvjetnica, drugi ju koriste neizravno kako bi osigurali hranjive tvari. Detritus iz bakterijske razgradnje mrtvih biljaka morskih cvjetnica osigurava hranu za mnoge organizme. Daljnjom razgradnjom oslobađaju se hranjive tvari koje kada se otope u vodi ponovno apsorbiraju morske cvjetnice i fitoplankton. Relativna sigurnost naselja morskih cvjetnica pruža idealno okruženje za mlade ribe i beskrležnjake da se sakriju od grabežljivaca. Gusta mreža korijena koju su uspostavile također pomaže odvratiti grabežljivce od kopanja po supstratu kako bi pronašli plijen. Morske cvjetnice utječu i na bistrinu vode jer hvataju fine sedimente i čestice koje su suspendirane u vodenom stupcu. Pomaži i pri filtriranju hranjivih tvari koje potječu iz industrijskog ispuštanja s kopna i otjecanja oborinskih voda prije nego što te hranjive tvari stignu na druga osjetljiva staništa, poput

koraljnih grebena. Globalno gledano, morskih cvjetnica sve je manje i to gotovo u potpunosti zbog ljudskog utjecaja. Ekosustavima morskih cvjetnica potrebno je aktivno upravljanje kako bi se osigurala njihova postojanost i dugoročni opstanak, što zahtijeva obrazovanje, povećanu svijest, upravljanje i očuvanje na globalnoj razini (Duarte i sur., 2008.).

Šume kelpa (Slika 5.) dominiraju plitkim stjenovitim obalama svjetskih hladnovodnih staništa. Sastoje se prvenstveno od smeđih algi reda *Laminariales* i proizvode najveće biogene strukture koje se nalaze u bentoskim morskim sustavima. Ekosustavi kelpa uključuju morske alge koje stvaraju strukturu i bezbroj povezanih organizama, poput morskih sisavaca, riba, rakova, ježinaca, mekušaca, drugih algi i epifita koji zajedno čine jedan od najraznovrsnijih i najproduktivnijih ekosustava na svijetu (Project Oceanography, 2002.).



Slika 5. Šume kelpa

Izvor: Internetska stranica Oceana.org.

Unutar šuma kelpa žive mahovnjaci, hidroidi, mizidni račići, amfipodi, izopodi, drugi veći rakovi, puževi i mlade ribe različitih vrsta. Neke od ovih životinja hrane se izravno kelpom i sposobne su za značajnu štetu ako se ne drže pod biološkom kontrolom. Kontroliraju ih grabežljive ribe koje se obično nalaze u sredini naselja kelpa. Naselja kelpa mijenjaju se kroz godišnja doba jer se količine sunčeve svjetlosti i hranjivih tvari mijenjaju s prirodnim ciklusima (Project Oceanography, 2002.).

Mangrove su drvenaste biljke koje rastu na spoju kopna i mora u tropskim i suptropskim geografskim širinama gdje preživljavaju u uvjetima velike slanosti, ekstremnih plima, jakih

vjetrova, visokih temperatura i muljevitog, anaerobnog tla (Slika 6.). Možda ne postoji druga skupina biljaka s tako visoko razvijenim morfološkim i fiziološkim prilagodbama ekstremnim uvjetima. Zbog svog okoliša, mangrove nužno podnose visoku razinu soli i imaju mehanizme za upijanje vode unatoč snažnim osmotskim potencijalima. Neki također uzimaju soli, ali ih izlučuju kroz specijalizirane žlijezde u lišću, drugi prenose soli u starije lišće ili ih skladište u kori ili drvu. Morfološke karakteristike uključuju obilno bočno korijenje koje omogućuje drveću da se učvrsti u rastresitim sedimentima, izloženo zračno korijenje za izmjenu plinova i propagule koje se prenose vodom uz pomoć kojih se razmnožavaju viviparno. Mangrove stvaraju jedinstveno ekološko okruženje u kojem se nalaze brojne vrste. Mangrove mogu imati posebnu ulogu kao rasadničko stanište za mlade ribe čije odrasle jedinke zauzimaju druga staništa, npr. koraljne grebene (Kandasamy i Bingham, 2001.).



Slika 6. Mangrove

Izvor: Internetska stranica Refoerstaction.com.

Budući da su okruženi rastresitim sedimentima, potopljeno korijenje mangrova, debla i grane su staništa koja mogu privući bogate epifaunalne zajednice uključujući bakterije, gljive, makroalge i beskraljeznjake. Zračni korijeni, debla, lišće i grane dom su za druge skupine organizama. Kukci, gmazovi, vodozemci, ptice i sisavci uspijevaju tu pronaći stanište i doprinose njegovom jedinstvenom karakteru. Živeći na granici između kopna i mora, mangrove su dobro prilagođene za suočavanje s prirodnim stresorima poput promjena temperature,

saliniteta, UV zračenja i sl. Međutim, budući da žive blizu granica tolerancije, mogu biti osobito osjetljivi na smetnje poput onih koje stvaraju ljudske aktivnosti (Kandasamy i Bingham, 2001.).

Zbog svoje blizine naseljenim mjestima, šume mangrova su povijesno nerijetko bila mjesta za ispuštanje otpadnih voda. Industrijske otpadne vode pridonijele su kontaminaciji teškim metalima u sedimentima i to je ostavilo značajne negativne učinke na mangrove. Uništavanje staništa putem ljudskog zadiranja bio je primarni uzrok gubitka mangrova. Preusmjeravanje slatke vode za navodnjavanje i melioraciju uništilo je opsežne šume mangrova. U posljednjih nekoliko desetljeća brojna područja mangrova pretvorena su u zone akvakulture, iz temelja mijenjajući prirodu staništa. Sve navedeno otkriva alarmantnu razinu uništenja mangrova. U regijama gdje je uklanjanje mangrova proizvelo značajne ekološke probleme, ulažu se napor u pokretanje projekata agrošumarstva i poljoprivrede mangrova, ali sustavi mangrova zahtijevaju intenzivnu njegu kako bi se spasila ugrožena područja (Kandasamy, Bingham, 2001.). Mangrove imaju značajnu ekološku vrijednost jer štite i stabiliziraju obale, daju komercijalne šumske proizvode i podržavaju obalno ribarstvo. Šume mangrova su među najproduktivnijim svjetskim ekosustavima, proizvode organski ugljik znatno iznad zahtjeva ekosustava i značajno doprinose globalnom ciklusu ugljika. Ekstrakti iz mangrova i vrsta ovisnih o mangrovama imaju dokazanu aktivnost protiv ljudskih, životinjskih i biljnih patogena, a mangrove se mogu dalje razvijati kao izvori vrijednih komercijalnih proizvoda i ribarskih resursa te kao mjesta za rastuću industriju ekoturizma. Njihove jedinstvene značajke također ih čine idealnim mjestima za eksperimentalna istraživanja biološke raznolikosti i funkcije ekosustava. Tamo gdje se degradirana područja obnavljaju, potrebno je provoditi kontinuirano praćenje i temeljitu procjenu kako bi se razumjelo proces oporavka (Kandasamy i Bingham, 2001.).

Otvoreni ocean najveći je morski ekosustav. Mnogi organizmi otvorenog oceana čitav život se ne približe obali, morskom dnu ili površini vode već sve vrijeme provode okruženi vodom sa svih strana. U slučaju dubokog otvorenog oceana, organizmi nikada ne vide ni sunčevu svjetlost. Kako bi bolje proučili i razumjeli ovaj ogromni ekosistem, znanstvenici ga dijele u različite zone. Epipelagijska zona ili gornji otvoreni ocean, dio je oceana gdje ima dovoljno sunčeve svjetlosti za alge i za fotosintezu. Općenito govoreći, ova zona seže od površine mora do približno 200 m. Epipelagijal je dom svim vrstama poznatih životinja, poput kitova i dupina, tuna, meduza, morskih pasa i mnogih drugih skupina. Alge, uključujući fitoplankton, koje žive u epipelagijskoj zoni odgovorne su za veći dio izvorne proizvodnje hrane za cijeli ocean i stvaraju najmanje 50% kisika na Zemlji. Organizmi koji žive u epipelagijskoj

zoni mogu doći u dodir s površinom mora. Druga zona je mezopelagička zona ili srednji otvoreni ocean, a proteže se od kraja epipelagijala do točke do koje sunčeva svjetlost ne može doprijeti. Općenito govoreći, duboki kraj mezopelagičke zone dubok je približno 1000 m. Mezopelagička zona mnogo je veća od epipelagičke, a u ovoj zoni žive najbrojniji kralježnjaci na Zemlji (OCEANA, 2012.) Sljedeća najdublja zona naziva se batipelagička zona ili donji otvoreni ocean. Ova zona počinje pri dnu mezopelagijala i najveći je ekosustav na svijetu. Gornja granica ove zone definirana je potpunim nedostatkom sunčeve svjetlosti. Organizmi u batipelagijskoj zoni žive u potpunoj tami, 24 sata dnevno. Tama se, međutim, može prekinuti nekim svjetlom koje uzrokuju sami organizmi. Bioluminiscencija može se koristiti za privlačenje plijena ili za pronalaženje partnera. Neke vrste su izgubile sposobnost da vide bilo što. Još je dublja abisopelagijska zona, koja se proteže od dna batipelagika do morskog dna. Ovu zonu karakterizira relativan nedostatak života, dakle ponor. Posebna zona koja postoji samo na određenim mjestima u svijetu naziva se hadopelagijska zona, a odnosi se na dubine u morskim brazdama. Najdublja poznata dubina oceana je gotovo 11.000 m (OCEANA, 2012.).

Obalna staništa u području plime i oseke koje nazivamo mediolitoral, javljaju se diljem svijeta gdje se kopno susreće s morem i omogućava život različitih zajednica algi i beskralježnjaka. Većina stjenovitih mediolitoralnih vrsta male su i sesilne, imaju kratak životni vijek i rasprostranjene su po strmim fizičkim nagibima koji se pojavljuju na kratkim udaljenostima. Ovi jaki okolišni gradijenti nastaju zbog oseke koja povremeno izlaže stjenovita mediolitoralna staništa utjecajima zraka i sunčevoj svjetlosti i zato što obalna morfološka obilježja, poput uvala, stvaraju izražene nagibe u energiji valova (Slika 7.). Ova jedinstvena kombinacija jakih fizičkih i bioloških nagiba čini ova staništa idealnim prirodnim laboratorijima za ekološka promatranja i manipulativne pokuse (Benedetti-Cecchi, 2014.). Brojni morski beskralježnjaci, uključujući ježince, rakove, školjke, vlasulje i morske zvjezdače prilagođene su ekstremnim uvjetima ekosustava stjenovite obale. Organizmi na stjenovitim obalama suočavaju se s nekim drugim prijetnjama i moraju se zaštititi od kopnenih organizama poput ljudi, ptica, mačaka, glodavaca koji imaju pristup stjenovitoj obali (Benedetti-Cecchi, 2014.).



Slika 7. Mediolitoralna stjenovita obala

Izvor: Internetska stranica University Cambridge Press.

Slane močvare i muljevite obale još su jedan od morskih ekosustava, a riječ je o niskim, vlažnim, muljevitim područjima koja se nalaze na spoju između kopna i mora te koja se povremeno ili kontinuirano zasićuju slanom vodom (Slika 8.). To zahtijeva da se organizmi u ovom ekosustavu prilagode promjenama dubine vode, saliniteta i temperature. Slane močvare karakteriziraju kopnene trave otporne na sol i druge nizinske biljke, ali bez drveća. Oni su jedan od najproduktivnijih ekosustava na Zemlji (US National Academy of Science, 2020.). Biljke slanih močvara pružaju kontinuiranu opskrbu uginulom organskom tvari, dok je bakterije razgrađuju i pomažu reciklirati natrag u sustav kao hranjive tvari. Močvarna vegetacija također pruža zaštitu i hranu za ribe, rakove koji koriste ekosustav kao mrjestilište i odgajalište. Muljevita staništa često prekrivaju nizinska područja između vegetacije slane močvare, mangrova ili naselja morskih cvjetnica. Nastaju kada plima ili rijeka talože slojeve blata, mulja, gline i hranjivih tvari. Muljevita staništa često su povezana sa zonama plime i oseke, poput uvala, ušća rijeka, zaljeva, barijernih otoka i laguna. Bioraznolikost u mulju je niža nego u močvarama (US National Academy of Science, 2020.).



Slika 8. Slana močvara

Izvor: Internetska stranica Earth.com.

Pješčane obale su nizinska područja s nataloženim pijeskom, šljunkom ili ostacima ljuštura morskih organizama. Pješčane obale izložene su između ekstremnih djelovanja plime i oseke i uglavnom su ravne. Pješčane dine su izloženi obalni sustavi jednog ili više pješčanih grebena stvorenih vjetrom. Većina pijeska na plaži dolazi od trošenja stijena, koralja, školjki i minerala. Površinski slojevi pješčane obale uvijek se mijenjaju zbog valova i vjetra pa to čini ekosustav nestabilnim za mnoge biljke i životinje. Organizmi koji nastanjuju pješčanu obalu razlikuju se ovisno o lokalnoj klimi i geologiji. Svi oni imaju posebne prilagodbe za opstanak u ovakvom okruženju. Sposobnost zakopavanja u pijesak štiti ih od valova i sprječava njihovo isušivanje tijekom plime. Primjeri stambenih vrsta pješčane obale uključuju rakove pustinjake, ježince, morske trave, alge, školjke, puževe i morske zvjezdače. Ptice i kornjače migriraju i koriste pješčane plaže kao mjesta za hranjenje i gniježđenje. Ekosustavi pješčane obale imaju važnu ulogu u filtriranju morske vode, kruženju hranjivih tvari i održavanju obalnog ribolova (US National Academy of Science, 2020.).

## 4.2. Utjecaj klimatskih promjena na morske ekosustave

Morski se ekosustavi održavaju protokom energije od primarnih proizvođača u bazi prehrambenih mreža do posrednih potrošača, najvećih predatora, uključujući ljude, i patogene, a zatim se natrag vraćaju putem razgradnje i detritalnih putova. Dakle, morske zajednice su biološke mreže u kojima je uspjeh vrsta izravno ili neizravno povezan putem različitih bioloških interakcija (npr. odnosi grabežljivac-plijen, natjecanje i sl.) s učinkom drugih vrsta u zajednici. Zbirni učinak ovih interakcija čini funkcionalne ekosustave, gdje primjerice oceanski i obalni ekosustavi pružaju bogatstvo besplatnih prirodnih koristi o kojima društvo ovisi, poput resursa za ribarstvo i akvakulturu, pročišćavanja vode, obalne zaštite i rekreacije. Rastući ljudski pritisci, uključujući klimatske promjene, imaju duboke i različite posljedice na morske ekosustave. Porast koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida, jedan je od najkritičnijih problema jer su njegovi učinci globalni. Primarne izravne posljedice su povećanje temperature oceana i kiselosti (Doney i sur., 2012.).

Do danas su antropogene emisije CO<sub>2</sub> već smanjile pH površinske vode za otprilike 0,1 jedinicu. Predviđa se da će se do 2050. pH dodatno smanjiti za otprilike dodatnu 0,1 jedinicu. Naravno, zakiseljavanje oceana uz zagrijavanje morske vode učinit će sustave na bazi kalcijevog karbonata (CaCO<sub>3</sub>) sve krhkim. Predviđanja prema oceanskim modelima sugeriraju da će pH oceana za nekoliko stoljeća biti niži nego ikad u posljednjih 300 milijuna godina. Iako se ova smanjenja pH -a mogu činiti malim, ona pružaju dovoljan razlog za uzbunu. Kad oceani apsorbiraju CO<sub>2</sub>, postaju sve kiseliji, a kalcit i aragonit se otapaju s povećanom lakoćom. Iznad određenog praga kiselosti, organizmi koji koriste kalcit i aragonit za rast ljuštura i skeleta, poput koralja, mekušaca, rakova, zooplanktona i fitoplanktona, počinju patiti. Pokusi u mezokozmosima pokazali su da će se pri očekivanim koncentracijama CO<sub>2</sub> 2150. godine kalcifikacija vrsta, poput jednostavnih algi kokolitoforida, najproduktivnijih organizama za kalcifikaciju na Zemlji, smanjiti na gotovo polovicu one pri trenutnoj koncentraciji CO<sub>2</sub> u okolini. Zakiseljavanje oceana stoga ugrožava opstanak cijelog niza morskih vrsta i cijelog oceanskog prehrambenog lanca (Chen-Tung, 2008.).

Rastuće temperature stvaraju niz dodatnih promjena, poput povećanja razine mora, povećane stratifikacije oceana, smanjene količine leda i promijenjenih obrazaca cirkulacije oceana, oborina i unosa slatke vode. Osim toga, zagrijavanje i promijenjena cirkulacija oceana djeluju na smanjenje koncentracije potpovršinskog kisika. Posljednjih desetljeća stope



promjena bile su brze i mogle bi premašiti sadašnje i potencijalne buduće mogućnosti prilagodbe mnogih organizama. Nadalje, stope fizičkih i kemijskih promjena u morskim ekosustavima gotovo će se ubrzati u sljedećih nekoliko desetljeća u nedostatku neposrednih i dramatičnih napora za ublažavanje klime. Izravni učinci promjena temperature i kemije oceana mogu promijeniti fiziološko funkcioniranje, ponašanje i demografska obilježja, npr. produktivnost organizama, što dovodi do promjena u strukturi veličine, prostornom rasponu i sezonskom obilju populacija. Ti pomaci dovode do promijenjenih interakcija vrsta i trofičkih putova kao promjena od primarnih proizvođača do riba na gornjoj razini, morskih ptica i morskih sisavaca, pri čemu se klimatski signali šire kroz ekosustave odozdo prema gore i odozgo prema dolje. Promjene u strukturi zajednice i funkciji ekosustava mogu biti posljedica poremećaja u biološkim interakcijama. Stoga, istraživanje odgovora pojedinih vrsta na pojedine čimbenike, iako je važno, daje nepotpunu priču i naglašava potrebu za sveobuhvatnijim analizama na razini više vrsta do ekosustava (Doney i sur., 2012.).

Učinci povećanja CO<sub>2</sub> ne djeluju izolirano. Dodatni regionalni pritisci na oceanske ekosustave uključuju intenzivnu uporabu gnojiva, degradaciju obalnih i bentoskih staništa, prekomjernu eksploataciju ribljih fondova, povećanje proizvodnje akvakulture i invazivne vrste. Hipoksija obale globalno se povećava i širi. Pogoršanje ekosustava intenzivno je i raste, osobito u obalnim sustavima, s 50% slanih močvara, 35% mangrova, 30% koraljnih grebena i 29% morskih cvjetnica koje su već izgubljene ili degradirane u cijelom svijetu. Potrebno je zajedno sagledati sve čimbenike koji negativno utječu na morske ekosustava (i CO<sub>2</sub> i one koji nisu povezani s CO<sub>2</sub>), zbog pronalaženja boljih mogućih rješenja za ublažavanje tih utjecaja (Doney i sur., 2012.).

Zbog toplinskog širenja vode i topljenja leda na kopnu dolazi do porasta razine mora, s trenutnom brzinom od približno 3 mm godišnje. Lokalno, porast razine mora može se značajno razlikovati od globalne prosječne vrijednosti zbog heterogenosti zagrijavanja gornjih slojeva oceana, promjena u atmosferi i cirkulaciji oceana te lokalnih geoloških karakteristika. Fizičke i kemijske promjene koje nastaju zbog porasta temperatura imaju snažne izravne i neizravne učinke na fiziologiju i ponašanje morskih organizama, što se može odraziti i na promjene na razini populacije i zajednice. Posljedično, promjene u oceanskim uvjetima i ključne biološke interakcije mogu promijeniti temeljnu dinamiku koja upravlja strukturom i funkcijom ekosustava. Dolazi do promjene u mehanizmima koji povezuju promjene u populacijama i zajednicama s promjenama svojstava na razini ekosustava te to rezultira različitim sastavom zajednice i bioraznolikosti i gubitkom funkcionalno istaknutih vrsta (Doney i sur., 2012.).

Neka istraživanja sugeriraju da geografska varijabilnost može modulirati odgovor ekosustava na strukturne promjene izazvane klimom. Ostvaren je značajan napredak u metodama za identificiranje pouzdanih pokazatelja, tj. mjerljivih karakteristika ekosustava, poput srednje duljine ribe ili udjela grabežljive ribe u zajednici, funkcije morskog ekosustava i otpornosti na smetnje. Brojna su se istraživanja bavila odgovorom primarne produktivnosti otvorenog oceana na klimatske uvjete na lokalnoj i globalnoj razini. Retrospektivne studije pokazuju da povećanje temperature gornjeg oceana, a time i vertikalna stratifikacija, rezultira smanjenjem količine i raznolikosti fitoplanktona i primarne proizvodnje, osobito u srednjim do niskim geografskim širinama. Zagrijavanje također može uzrokovati povećanje udjela malog fitoplanktona smanjujući protok energije na više trofičke razine (Doney i sur., 2012.).

## **5. MORSKI EKOSUSTAVI KOJI PRIDONOSE UBLAŽAVANJU KLIMATSKIH PROMJENA**

Međunarodna znanstvena zajednica sve više prepoznaje ulogu prirodnih sustava u ublažavanju klimatskih promjena. Iako su šume povijesno bile primarni fokus takvih napora, obalna močvarna područja i naselja morskih cvjetnica sada se smatraju važnim i učinkovitim dugoročnim ponorima ugljika. Međutim, pojedini znanstvenici smatraju da je potrebno proširiti strategije ublažavanja negativnih posljedica klimatskih promjena uključivanjem drugih komponenti unutar obalnih i morskih sustava, poput koraljnih grebena, fitoplanktona, šuma algi i morske faune (Howard i sur., 2017.).

U kontekstu ublažavanja klimatskih promjena, povećanje kapaciteta i značaja ponora prirodnog ugljika postalo je sve važnija znanstvena i politička tema. Istraživanja prirodnih ponora ugljika usredotočena su prvenstveno na oceane i kopnene šume, a u posljednje vrijeme i na obalne sustave. Ocean predstavlja najveći aktivni ponor ugljika na Zemlji, apsorbirajući 20–35% antropogene emisije CO<sub>2</sub>. Međutim, strategije upravljanja za poboljšanje sekvenciranja i skladištenja ugljika u oceanima trenutačno su nepraktične i postoji velika zabrinutost zbog ekoloških utjecaja takvih intervencija. Stoga se znanstvenici i donositelji odluka sada usredotočuju na kopnene i obalne ekosustave koji pokazuju veliki potencijal za ublažavanje klimatskih promjena te se podvrgavaju lokalnim i nacionalnim strategijama upravljanja. Na primjer, Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama (UNFCCC) priznaje da kopnene šume uklanjaju iz atmosfere i pohranjuju velike količine ugljika u svojoj biomasi, a prema Konvenciji, šume su temelj strategija za ublažavanje klime, poput smanjenja emisija uslijed krčenja šuma i degradacije šuma (Howard i sur., 2017.).

Slično, obalna močvarna područja sve se više priznaju kao važni ponori ugljika, na temelju njihove sposobnosti da sekvenciraju velike količine ugljika u svojoj biomasi i, što je još važnije, u njihovom tlu. Ugljik izdvojen u obalnim i morskim vegetacijskim ekosustavima poznat je kao "obalni močvarni plavi ugljik". Antropogena pretvorba i degradacija obalnih močvara mogu dovesti do velikih emisija, jer se velik dio ugljika pohranjenog u tlu ispušta natrag u atmosferu i ocean. Time obalna močvarna područja umjesto neto ponora mogu postati izvor ugljika. Očuvanje, obnova i održiva uporaba ovih ekosustava ključni su za osiguravanje održavanja sekvenciranja ugljika, zajedno s mnogim dodatnim uslugama ekosustava koje pružaju. Uz sve veće priznavanje važnosti obalnih močvara za ublažavanje klime, donositelji

odluka izrazili su veći interes za potencijal ublažavanja klime drugih obalnih i morskih ekosustava i komponenti ekosustava, osobito morskih algi, koralja, fitoplanktona i morske faune. Iako sve ove komponente pružaju vrijedne usluge i imaju važnu vrijednost očuvanja, nisu sve prikladne za razmatranje u okvirima politike o klimatskim promjenama (Howard i sur., 2017.).

Svi prirodni ekosustavi cirkuliraju ugljik kao važan dio prijenosa energije potrebne za održavanje života. Iz klimatske perspektive, velik dio ugljika koji prirodno kruži kroz ekosustav dio je osnovnog stanja, uključujući protoke u i izvan sustava. Procesi ugljika koji su važni za politike ublažavanja klime i regulacije stakleničkih plinova, odnose se na one procese koji utječu na razinu stakleničkih plinova u atmosferi u tolikoj mjeri da ostavljaju posljedice na klimu te one koji su potaknuti ljudskim aktivnostima vezanim uz povećanje (npr. degradacija staništa) ili smanjenje (npr. obnova i očuvanje staništa) emisije stakleničkih plinova. Sljedeće su informacije potrebne kako bi se utvrdilo zadovoljava li ekosustav ili komponenta ekosustava ove zahtjeve te kako bi se utvrdile njihove potencijalne emisije i uklanjanja za nacionalne popise stakleničkih plinova (Howard i sur., 2017.):

- stopa sekvestracije ugljika,
- trenutne zalihe ugljika, uključujući stabilnost i trajnost tih zaliha,
- geografsko područje,
- antropogeni pokretači gubitka sustava koji dovodi do emisije ili uklanjanja ugljika,
- stope emisija iz degradiranih i netaknutih stanja.

S tim informacijama moguće je da politike ublažavanja klime podrže intervencije potrebne za smanjenje, zaštitu ili povećanje potencijala prirodnih sustava za hvatanje i skladištenje ugljika. Potrebne su informacije kako bi se izvijestilo o razvoju ili proširenju politike koja će uključiti prednosti ublažavanja ugljika u morskim ekosustavima. Na primjer, razumijevanje prava vlasništva, prava korištenja i upravljanja ekosustavom ili nekom njegovom komponentom, kao i identificiranje koji su pojedinci, institucije ili vlade odgovorni za upravljanje i tko će imati koristi od nastalih klimatskih koristi - sve je to kritično radi pravilne provedbe politika vezanih za klimu. Isto tako, važno je znati tko će biti sankcioniran za radnje koje rezultiraju oslobađanjem ugljika i može li se ekosustavom upravljati kako bi se osigurale postojeće zalihe ugljika (Howard i sur., 2017.).

## 5.1. Skladištenje ugljika u morskim ekosustavima

Svi oblici života na Zemlji trebaju i izmjenjuju ugljik. Ciklus ugljika u oceanu složen je i kvantificirati ugljik koji je pohranjen u morskim ekosustavima nije jednostavno. Zbog te složenosti, znanstvene publikacije koje kvantificiraju ugljik pohranjen u oceanu uvelike se razlikuju i mnoge su brojke samo procjene (Thompson i sur., 2017.).

Baš kao što je to slučaj u kopnenom okruženju, ugljik se u oceanu nalazi u različitim oblicima, na različitim mjestima i u različitim količinama. Može ga se svrstati u dvije skupine:

- **organski:** ugljik koji se skladišti u živim biljkama i morskim organizmima, u organski bogatom detritusu ili kao otopljeni organski,
- **anorganski ugljik:** atmosferski ugljični dioksid koji se otapa u morskoj vodi i tvori ugljičnu kiselinu, bikarbonat i karbonat, karbonat koji se izlučuje i ugrađuje u kosture morskih beskralježnjaka, a luče ga kralježnjaci (Thompson i sur., 2017.).

Postoji nekoliko razloga za složenost ciklusa ugljika u oceanu. Jedan od razloga je taj što se ugljik u oceanu skladišti različito dugoročno i kratkoročno. Terminologija u objavljenoj znanstvenoj literaturi razlikuje se kada se raspravlja o vremenskim okvirima, a razlikuje se:

- **kratkoročno skladištenje:** ugljik, organski i anorganski, u živoj biomasi koji se skladišti u morskoj (ili obalnoj) biljci ili organizmu za vrijeme svog života,
- **dugotrajna** sekvestracija: ugljik, organski i anorganski, sekvestriran tisućljećima u morskom tlu i sedimentu, uključujući i plinske hidrate (Thompson i sur., 2017.).

Kako bi se dodatno povećala složenost oceanskog ciklusa ugljika, ugljik "fiksiran" na jednom mjestu u moru može se izvesti na velike udaljenosti na drugo mjesto i tamo reciklirati ili odložiti. Procesi koji pokreću ovaj izvoz trenutno nisu u potpunosti razumljivi. Jedan od načina na koji se ugljik prenosi u oceanu su morski organizmi. Morski organizmi važni su i za kruženje ugljika i za njegovu preraspodjelu. Organizme koji provode fotosintezu, poput fitoplanktona koji fiksira CO<sub>2</sub>, zauzvrat koriste drugi organizmi i na taj način ugljik ulazi u prehrambeni lanac. Taj postupak sastavni je dio globalnog ciklusa ugljika, ali učinkovitost ovisi o zdravim morskim ekosustavima. (Thompson i sur., 2017.).

Prilikom opisivanja ugljika u oceanu važno je naglasiti da se niti jedno područje oceana ne smije smatrati važnijim od drugog. Na primjer, obalni i otvoreni ekosustavi mogu se činiti

vrlo različitima, ali su neraskidivo povezani. Količina ugljika u oceanu i količina koja se sekvestrira u sedimentu varira prostorno i vremenski. Neka područja morskog dna mogu biti ili neto ponor ili neto izvor ugljika, pa je iz tog razloga potrebno više istraživanja kako bi se u potpunosti razumjeli procesi koji pokreću te promjene. Znanstvenici su pokušali modelirati i kvantificirati doprinos priobalnih staništa ciklusu ugljika, ali dobiveni su različiti rezultati. Značajan nedostatak znanja zbunjuje procjene prostornog područja vegetacijskih obalnih staništa i njihove stope sekvestracije ugljika. Sprječavanje uklanjanja ili oštećenja vegetacijskih obalnih ekosustava, a posebno šuma mangrova, livada s morskom travom i solana, daleko je učinkovitije od obnavljanja takvih staništa koja su degradirana. Razlozi uključuju visoke financijske troškove i oslobađanje skladištenog ugljika, ali i zato što nema jamstva da će se stanište uspješno ponovno uspostaviti (Thompson i sur., 2017.).

Razvoj obale može rezultirati promjenom ekosustava iz neto ponora ugljika u značajan izvor ugljika. Čak i mnogo godina nakon obnove, objavljena istraživanja pokazuju da obalni ekosustavi u kojima je pohranjen plavi ugljik<sup>2</sup> ne pohranjuju ugljik tako učinkovito kao prije. Ljudske aktivnosti mogu utjecati na biološku sekvestraciju ugljika u oceanima. Tamo gdje su dugogodišnjim istraživanjima provođenja mjerena zaliha ugljika, pokazalo se da ribolov s kočom značajno smanjuje stopu sekvestracije ugljika. Ekološki utjecaji rudarstva na morskom dnu vjerojatno će biti brojni jer ono može izazvati brojne poremećaje u toku ugljika i organizmima koji nastanjuju duboko more (Thompson i sur., 2017.).

Mreža zaštićenih morskih područja (eng. *Marine Protected Area*, MPA) ili morskih rezervata koja maksimizira zaštitu biološke raznolikosti i istodobno promiče sekvestraciju ugljika nesumnjivo bi od samog početka trebala uključiti načela prilagodljivog upravljanja. Mreža bi trebala biti ekološki koherentna i razvijena imajući u vidu balans kruženja ugljika, s ciljem zaštite i izvora i dugoročnih ponora ugljika kako bi se promicala učinkovita sekvestracija. Nedavno modeliranje sugeriralo je da bi takva mreža zaštićenih područja trebala zauzimati čak 37% površine globalnog oceana kako bi se postiglo odgovarajuće očuvanje biološke raznolikosti. Dizajn takvih mreža morat će uključiti sveobuhvatnu zaštitu vodenog stupca i morskog dna te uzeti u obzir životne cikluse, domet rasprostiranja i migracijske navike prisutnih vrsta. Oceani su sastavni dio globalnog ciklusa ugljika, ali postoje značajne praznine u znanstvenom razumijevanju određenih procesa koji su uključeni. Istraživanja će pomoći u

---

<sup>2</sup> Plavi ugljik je ukupni organski ugljik pohranjen u obalnim i morskim ekosustavima.

razumijevanju prometa ugljika u oceanu, osobito u preciznom opisivanju lokacije i količine antropogenog CO<sub>2</sub> koji bi se mogao sekvestrirati (Thompson i sur., 2017.)

Zbog brzih promjena koje su donijele klimatske promjene, procjena potencijala za ublažavanje klime u obalnim staništima plavog ugljika i na otvorenom oceanu postaje sve važnija. Znanstvenici još uvijek trebaju točno izmjeriti globalno područje prekriveno obalnim staništima plavog ugljika. Također, veze između izvora ugljika i dugoročnih ponora nisu dobro razumljive, kao ni pokretači sekvestracije ugljika. U tijeku su istraživanja kako bi se riješili ovi i drugi nedostaci u znanju. Bez obzira na kvantitativne nesigurnosti, jasno je da će daljnje narušavanje morskih ekosustava, ugljika koji već skladište i njihove buduće sposobnosti da sekvestriraju daljnje rezerve ugljika neizbježno djelovati protiv postizanja klimatskih ciljeva. Uključivanje ciljeva zaštite izvora i ponora ugljika, uz vrste i staništa, u dizajn učinkovite mreže morskih rezervata moglo bi pružiti ključne strateške mogućnosti za ublažavanje klimatskih promjena (Thompson i sur., 2017.)

## **5.2. Obalna područja s vegetacijom**

Obalni ekosustavi mangrova, plimnih močvara i livada morskih cvjetnica pružaju brojne prednosti i usluge koje su ključne za prilagodbu klimatskim promjenama duž obala na globalnoj razini, uključujući zaštitu od oluja i porasta razine mora, sprječavanje erozije obale, regulaciju kvalitete obalne vode, osiguravanje stanište za komercijalno važno ribarstvo i ugrožene morske vrste, te sigurnost hrane za mnoge obalne zajednice. Osim toga, ovi ekosustavi sekvestriraju i pohranjuju značajne količine obalnog plavog ugljika iz atmosfere i oceana i stoga su sada prepoznati po svojoj ulozi u ublažavanju klimatskih promjena. Oni izdvajaju ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) iz atmosfere i oceana po znatno većim stopama, po jedinici površine, nego kopnene šume (The Blue Carbon initiative, 2021.).

Mangrove su vrsta šuma, koja se nalazi na rubu kopna i mora i redovito je poplavljena plimnom vodom. Mangrove su jedne od šuma najbogatijim ugljikom te ga zaista spremaju puno i dugotrajno jer su prava drvena masa. Procjenjuje se da prosječna godišnja stopa sekvestracije ugljika za mangrove u prosjeku iznosi između 6 do 8 Mg CO<sub>2</sub> e/ha (tona ekvivalenta CO<sub>2</sub> po hektaru površine). Te su stope oko dva do četiri puta veće od globalnih stopa uočenih u zrelim tropskim šumama. U posljednjih 50 godina globalno je izgubljeno između 30-50% mangrova, a nastavlja se gubitak po stopi od 2% svake godine. Glavni uzroci uništavanja ekosustava

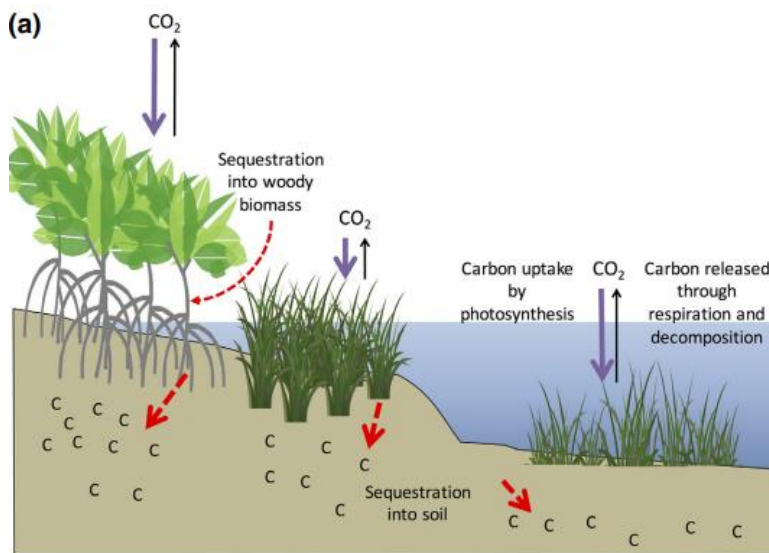
mangrova uključuju krčenje šuma za izgradnju ribnjaka za akvakulturu i druge oblike neodrživog razvoja obale. Stručnjaci procjenjuju da emisije uzrokovane degradacijom mangrova mogu iznositi čak 10% ukupnih emisija uzrokovanih krčenjem šuma na globalnoj razini, iako mangrove čine samo 0,7% površine tropskih šuma (The Blue Carbon initiative, 2021.).

Morske cvjetnice, iako čine manje od 0,2% svjetskih oceana, izdvajaju otprilike 10% ugljika zakopanog u oceanskom sedimentu godišnje. Po hektaru, morska cvjetnica može pohraniti do dva puta više ugljika od kopnenih šuma, upravo zahvaljujući trajnijoj skevestraciji zbog korijena koji se nalazi u anaerobnim uvjetima bez razgradnje. Globalni bazen organskog ugljika u ekosustavu morskih cvjetnica mogao bi iznositi čak 19,9 milijardi metričkih tona. Morske cvjetnice spadaju među najugroženije ekosustave na svijetu, s godišnjim globalnim gubitkom od oko 1,5% i ubrzanim tijekom posljednjih desetljeća. Globalno, oko 29% ekosustava morskih cvjetnica je izgubljeno. Glavne prijetnje morskoj travi uključuju degradaciju kvalitete vode zbog loših praksi vezanih uz upravljanje zemljištima, kao što su krčenje šuma i jaružanje (The Blue Carbon initiative, 2021.).

Gotovo sav ugljik u ekosustavima plimnih močvara nalazi se u tlu, koje može biti duboko i nekoliko metara. Procjenjuje se da je prosječna godišnja stopa sekvestracije ugljika za plimne močvare u prosjeku između 6 do 8 CO<sub>2</sub>e/ha. Plimne močvare filtriraju onečišćujuće tvari iz kopnenih otjecanja i stoga pomažu u održavanju kvalitete vode u obalnim područjima. Plimne močvare gube se po stopi od 1-2% godišnje, a izložene su većim utjecajima poput isušivanja za razvoj obale, poljoprivredu i porasta razine mora te su kratkoživuće i kratkotrajnije sekvestriraju ugljik (The Blue Carbon initiative, 2021.).

Iako nove metode i tehnologije omogućuju bolje kartiranje opsega obalnih močvara, svake se godine velika područja ovih ekosustava gube, ponekad prije nego što se mogu opisati. Mangrove, slane močvare i morske cvjetnice skladište velike količine ugljika u procesu fotosinteze ili hvatanjem sedimenata i ostataka organizama u njihovim složenim korijenskim sustavima (Howard i sur., 2017.). Unutar navedenih ekosustava, CO<sub>2</sub> se iz atmosfere preuzima fotosintezom, pri čemu se većina gotovo odmah vraća u atmosferu putem procesa disanja, a dio se privremeno skladišti u biljnom lišću. Ostatak se dulje vrijeme skladišti u drvenastoj biomasi i tlu (Slika 9.).





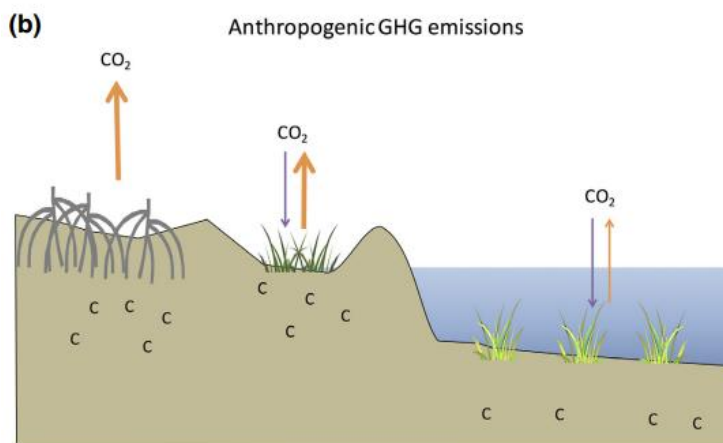
Slika 9. Prikaz netakunatih obalnih močvarnih područja

Izvor: Howard i sur., 2017.

Između 50% i 90% cjelokupnog ugljika u priobalnim područjima s vegetacijom, ovisno o vrsti vegetacije, nalazi se u tlu. Osim toga, plima i oseka održavaju tlo vlažnim ili potopljenim (bez izmjene kisika), čime se inhibira djelovanje mikroba i usporava razgradnja tako da se ugljik nakuplja u tlu i ostaje relativno stabilan. Obalna močvarna područja također akumuliraju ugljik koji se prenosi riječnim sustavima i plimama, u obliku vegetacije i taloga iz susjednih ekosustava. Ugljik u biljnoj biomasi skladišti se godinama do desetljeća, dok ugljik u tlu može ostati sekvestriran tisućljećima. Zdravi obalni ekosustavi neprestano nakupljaju ugljik u tlu, što im omogućuje da idu u korak s porastom razine mora; to znači da imaju potencijalno neograničeni kapacitet da sekvestriraju ugljik na dulje vremensko razdoblje. Globalne procjene zaliha ugljika u tim sustavima kreću se od 10,4 do 25,1 milijardi megagrama ugljika, no to je vjerojatno podcjenjivanje, jer iako organski bogati profili tla mogu doseći dubinu od nekoliko metara, većina istraživanja uzima u obzir ugljik samo u najgornjem metru tla. Ogromne zalihe stabilnog ugljika, kao i visoke stope sekvestracije, pokazuju zašto su obalna močvarna područja pogodna za napore politike ublažavanja klime (Howard i sur., 2017.).

Obalna močvarna područja u drugom su pogledu relevantna za ublažavanje negativnih posljedica klimatskih promjena; ljudske aktivnosti mogu pretvoriti te velike prirodne ponore ugljika u glavne izvore ugljika putem emisije stakleničkih plinova. Na primjer, kada se šume mangrova isušuju radi razvoja, mikrobnog djelovanje u tlu, prethodno spriječeno poplavom plime i oseke, oksidira ugljik i emitira ga u atmosferu kao CO<sub>2</sub>. Gubitak i odvodnjavanje

obalnih močvara procjenjuje se na 0,7–3% godišnje ovisno o vrsti vegetacije i položaju, što rezultira ispuštanjem 0,23–2,25 milijardi Mg CO<sub>2</sub>. Za mangrove i plimne močvare taj je gubitak uvelike posljedica ljudske pretvorbe i degradacije povezane s obalnim razvojem, poljoprivredom i akvakulturom. Gubitak staništa morskih cvjetnica uglavnom je posljedica smanjene kakvoće vode kao posljedice otjecanja sedimenta i hranjivih tvari iz antropogenih izvora te izravnih utjecaja poput jaružanja i kočarenja. Upravljanje obalnim močvarama nije uvijek jednostavno, djelomično zato što je tipično podložno pitanjima koja se odnose na zakup zemljišta i granice nadležnosti; međutim, ti su ekosustavi zauzeli istaknuto mjesto u smislu strategija ublažavanja klime, s obzirom na njihovu inherentnu sposobnost da sekvestriraju velike količine ugljika, s obzirom na velike količine ugljika koji su već uskladišteni u njima, te s obzirom na to da odgovarajuće inicijative mogu pomoći da se osigura da njihov skladišteni ugljik se više zadržava nego ispušta u atmosferu (Howard i sur., 2017.).



Slika 10. Prikaz degradiranih obalnih močvarnih područja

Izvor: Howard i sur., 2017.

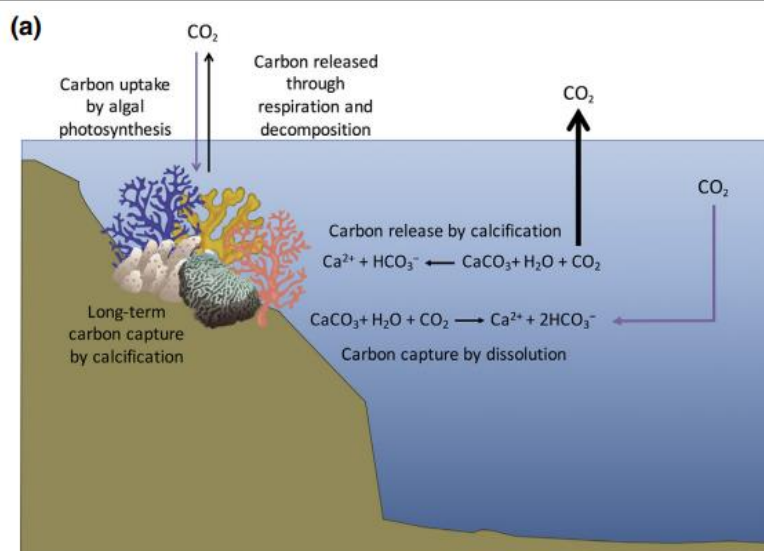
Prilikom isušivanja tla iz degradiranih obalnih močvara, ugljik pohranjen u tlu troše mikroorganizmi koji dišu i oslobađaju CO<sub>2</sub> kao metabolički otpadni proizvod. To se događa povećanom brzinom pri isušivanju tla kada je kisika više dostupno, što dovodi do veće emisije CO<sub>2</sub>. Degradacija, odvodnjavanje, ostale ljudske aktivnosti kao što su krčenje šuma, korištenje močvarnih područja za poljoprivredu, jaružanje i sl., rezultira smanjenjem unosa CO<sub>2</sub> zbog gubitka vegetacije što je na slici 10. prikazano ljubičastim strelicama i globalnim oslobađanjem važne emisije stakleničkih plinova prikazano narančastim strelicama. Ovo je jedinstvena

osobina obalnih ekosustava s plavim ugljikom u usporedbi s drugim ekosustavima (Howard i sur., 2017.).

Unatoč prednostima, obalni ekosustavi plavog ugljika jedni su od najugroženijih ekosustava na Zemlji, s procijenjenim da se svake godine uništi 340.000 do 980.000 hektara. Procjenjuje se da je izgubljeno do 67% i najmanje 35%, odnosno 29% globalne pokrivenosti mangrova, plimnih močvara i livada morskih cvjetnica. Ako se ti trendovi nastave sadašnjim stopama, daljnjih 30-40% plimnih močvara i morskih cvjetnica te gotovo svih nezaštićenih mangrova moglo bi biti izgubljeno u sljedećih 100 godina. Kada se degradiraju ili izgube, ovi ekosustavi mogu postati značajni izvori stakleničkih plinova ugljičnog dioksida (The Blue Carbon initiative, 2021.).

### **5.3. Koraljni grebeni**

Koraljni grebeni nastaju rastom i razvojem velikog broja različitih vrsta koraligenih organizama koji kroz duže vremensko razdoblje stvaraju naslage kalcijevog karbonata. Trenutno, plitki koraljni grebeni pokrivaju globalno 28,4 milijuna ha. Grebeni ne samo da omogućuju zaštitu obale od oluja i erozije, oni su mrjestilište i rasadnik ekonomski važnih vrsta riba, osiguravaju poslove i prihode lokalnim gospodarstvima, već uz sve to predstavljaju i žarišta morske bioraznolikosti. Jesu li ekosustavi koraljnih grebena izvori ili ponori atmosferskog CO<sub>2</sub> ovisi o ravnoteži između dva skupa procesa: fotosinteze i kalcifikacije (Howard i sur., 2017.). Koraljni grebeni preuzimaju ugljik fotosintezom svojih simbiotskih algi i otapanjem same strukture grebena, što na slici 10 pokazuju ljubičaste strelice, dok crne pokazuju oslobađanje ugljika disanjem i kalcifikacijom. Ne može se reći da koraljni grebeni sekvestriraju ugljik, jer unatoč činjenici da je ugljik integriran u strukturu grebena, gdje može ostati tisućljećima, neto utjecaj kalcifikacije na atmosferu i dalje je povećanje CO<sub>2</sub> (Howard i sur., 2017.).



Slika 11.: Prikaz koraljnih grebena i uklanjanje CO<sub>2</sub>

Izvor: Howard i sur., 2017.

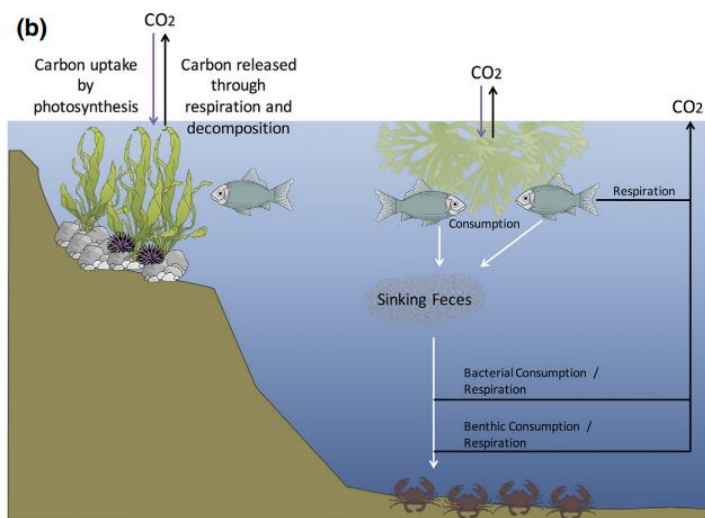
Kalcifikacija koraljnog grebena događa se kada se CaCO<sub>3</sub> taloži iz vodenog stupca na strukturu grebena. Koraljni grebeni se otapaju kada okolna voda postane nezasićena CaCO<sub>3</sub>, a to je proces koji uključuje hvatanje CO<sub>2</sub> iz vodenog stupca. Budući da CO<sub>2</sub> oslobođen kalcifikacijom premašuje CO<sub>2</sub> zarobljen otapanjem, koraljni grebeni općenito se smatraju malim izvorima CO<sub>2</sub> u atmosferi. Međutim, s povećanjem zakiseljavanja oceana koje je posljedica porasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi, ravnoteža između kalcifikacije i otapanja može se promijeniti. Ako se u budućnosti ocean nastavi zakiseljavati mnogi grebeni će se potpuno otopiti i možda postanu ponori ugljika, ali na štetu cjelokupnog grebenskog ekosustava. Iako imaju ograničeni kapacitet za direktno sekvestriranje ugljika, kroz nekoliko desetljeća, čak i stoljeća koraljni grebeni su pokazali važne prednosti kod prilagodbe na klimu, poput sprečavanja nastajanja valova te podržavaju staništa s većim potencijalom sekvestracije ugljika (mangrove, morske cvjetnice) (Howard i sur., 2017.).

## 5.4. Alge

Alge se prvenstveno pojavljuju u umjerenim i polarnim regijama uz obalu. Iako je procijenjeni prostor staništa algi približno 2,35 milijuna ha diljem svijeta, samo je dio ovog područja istražen, a predviđene globalne zalihe ugljika u njima su između 87 i 127 milijuna Mg

C. Često slobodno plutajuće ili pričvršćene na stjenovitu podlogu, alge ne razvijaju opsežne sustave ukorjenjivanja za hvatanje detritusa i taloga, poput vegetacije u obalnim močvarama, mangrovama ili morskim cvjetnicama. Slobodno plutajuća, odvojena ili mrtva alga brzo se konzumira od strane morske faune, uključujući i morske ptice, a dio ugljika na bazi morske alge koji se na kraju sekvstrira ukopavanjem u oceanske sedimente još uvijek je slabo istražen. Kratki životni vijek pojedinih algi i nedostatak dugotrajnog skladištenja ugljika znači da ne mogu djelovati kao učinkoviti dugoročni ponori ugljika i ne smatraju se dijelom održive strategije za ublažavanje klime (Howard i sur., 2017.).

Alge preuzimaju ugljik fotosintezom (ljubičaste strelice) i oslobađaju ugljik disanjem (crne strelice) (Slika 12.). Većina algi se konzumira pa na taj način dio ugljika u algama prelazi u biomasu morske faune i izmet. Malo je dokaza da bilo koja uginula alga potone na dno oceana, s obzirom da se većina, ako ne i sva, konzumira prije nego što dosegne dno mora (Howard i sur., 2017.).



Slika 12. Prikaz odnosa algi i uklanjanja ugljika

Izvor: Howard i sur., 20

Vežano uz uzgoj algi, akvakultura morskih algi sada čini 27% ukupne proizvodnje morske akvakulture. Daljnje širenje akvakulture morskih algi zahtijevat će razvoj kvalificirane radne snage i nove tehnologije za zauzimanje dodatnih pogodnih područja za uzgoj. Povećan doprinos akvakulture morskih algi ublažavanju i prilagodbi klimatskih promjena zahtijeva da proizvodnja algi kontinuirano raste. Proizvodnja morskih algi, kako iz divljih zaliha, tako i iz akvakulture, predstavlja važan kanal za uklanjanje CO<sub>2</sub> iz atmosfere. Ipak, potencijal

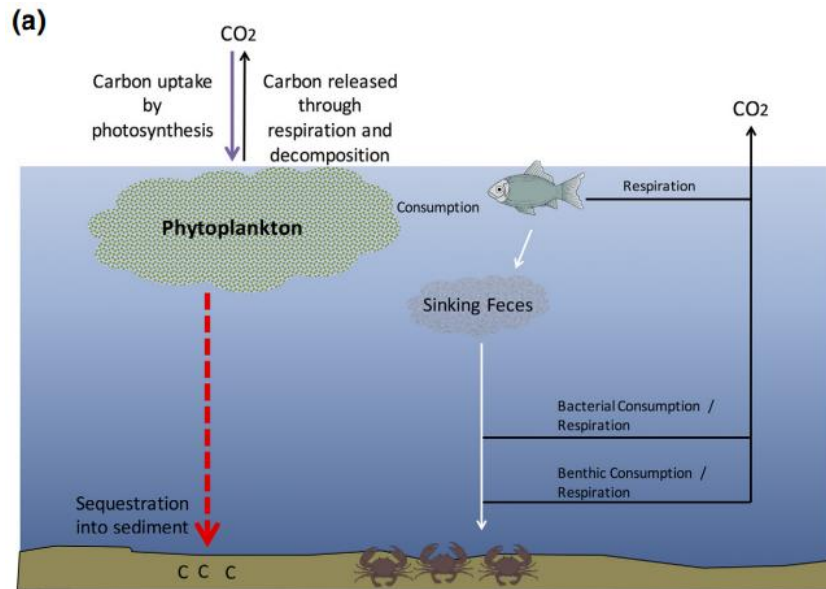
upravljanja proizvodnjom algi za ublažavanje klimatskih promjena sekvestriranjem CO<sub>2</sub> još nije u potpunosti ugrađen u nastajući koncept plavog ugljika, pozivajući se na strategije ublažavanja klimatskih promjena koje se temelje na sposobnosti morskih biljaka da vežu CO<sub>2</sub>. Razlog za takvo zanemarivanje je uvjerenje da se velika većina morskih algi razgrađuje u oceanu i stoga ne predstavlja neto ponor CO<sub>2</sub>. Međutim, ovo je gledište nedavno osporeno, a novi dokazi upućuju na to da su morske alge globalno relevantni doprinosi oceanskim ponorima ugljika. Stoga se sada preispituje doprinos morskih algi plavom ugljiku i strategijama ublažavanja klimatskih promjena (Howard i sur., 2017.).

Jedan od načina za proširenje strategija plavog ugljika za uključivanje kapaciteta ponora CO<sub>2</sub> za alge je upravljanje budućom proizvodnjom morskih algi, bilo da potječe iz akvakulture ili sakupljanja zaliha iz prirode, kako bi se smanjile emisije CO<sub>2</sub> nastale korištenjem fosilnih goriva. To se može postići, na primjer, korištenjem biomase morskih algi kao biogoriva koja izravno zamjenjuje fosilna goriva ili zamjenom sustava za proizvodnju hrane ili hrane za životinje s intenzivnom emisijom CO<sub>2</sub> s prehrambenim sustavom na bazi morskih algi koji imaju znatno nižu emisiju CO<sub>2</sub> tijekom životnog ciklusa. Razvoj uzgoja algi kao strategije za ublažavanje klimatskih promjena pomogao bi ublažiti sadašnja ograničenja daljnjeg rasta akvakulture morskih algi. Rast proizvodnje algi premašuje rast tradicionalnih tržišta, što dovodi do stalnog pada cijena od oko 1-2% godišnje odvrćajući poljoprivrednike i ulagače od uključivanja. Ekonomska naknada za ekološke koristi koje donosi uzgoj morskih algi, uključujući njezinu ulogu u ublažavanju klimatskih promjena, omogućila bi daljnji rast i održiviju industriju akvakulture morskih algi. Konkretno, ekonomska naknada za klimatske usluge povezane s uzgojem morskih algi pomogla bi u stvaranju novog tržišta za proizvodnju morskih algi, a istovremeno stvorila poticaje za daljnje smanjenje emisije CO<sub>2</sub> u životnom ciklusu akvakulture morskih algi (Duarte i sur., 2017.).

## **5.5. Fitoplankton**

Kao jednostanični organizmi prisutni u oceanu, fitoplankton osigurava najveći dio kisika u moru i ključan je izvor hrane za morsku faunu. Iako je količina fitoplanktona u svjetskim oceanima neizvjesna, procjenjuje se da je ukupna masa ugljika koju sekvestira 0,5-2,4 milijarde Mg C godišnje. Većina fitoplanktona kratko žive ili ih konzumiraju organizmi na višoj trofičkoj razini. Iz Slike 13. se vidi da fitoplankton preuzima ugljik fotosintezom što

prikazuje ljubičasta strelica i oslobađa ugljik disanjem, a to je crna strelica. Većinu fitoplanktona konzumiraju organizmi više trofičke razine gdje se dio ugljika integrira u biomasu i izmet morske faune. Mali, ali ključan postotak fitoplanktona tone na dno oceana gdje se dugotrajno sekvestrira u sedimentu, a na slici je to prikazano crvenom isprekidanom strelicom (Howard i sur., 2017.).



Slika 13. Fitoplankton i sekvestracija ugljika

Izvor: Howard i sur., 2017.

Dakle, ugljik ostaje uskladišten u njihovoj biomasu samo nekoliko sati ili tjedana, za razliku od ugljika sekvestriranog u drvu mangrova, što može trajati desetljećima. Međutim, mali, ali važan dio ugljika iz fitoplanktona potonut će i dugotrajno sekvestrirati u sedimentima na dnu mora. Smatra se da je veličina svjetskog bazena ugljika iz fitoplanktona relativno stabilna, sa sezonskim varijacijama, ali promjene temperature oceana i obrazaca cirkulacije mogu dovesti do promjena u sastavu vrsta fitoplanktona, što može promijeniti tokove ugljika. Unatoč tome što predstavljaju globalno relevantan ponor ugljika, fitoplankton nije dobro prilagođen politikama ublažavanja klime jer se njihovim kapacitetom sekvestracije ne može manipulirati bez geoinženjeringa, a pitanja nadležnosti na otvorenom moru i dalje predstavljaju izazov (Howard i sur., 2017.).

## 5.6. Morska fauna

Akumulirajući ugljik u svojoj biomasi i oslobađajući ugljik disanjem i defekacijom, morska fauna, posebno kalcifikatori, kril i koštunjače, igraju ulogu u kruženju. Ovi se organizmi nalaze u svim većim morskim vodenim tijelima, a populacije se razlikuju ovisno o regiji i dubini, iako se najveća poznata populacija krila nalazi izvan Antarktika (Howard i sur., 2017.).

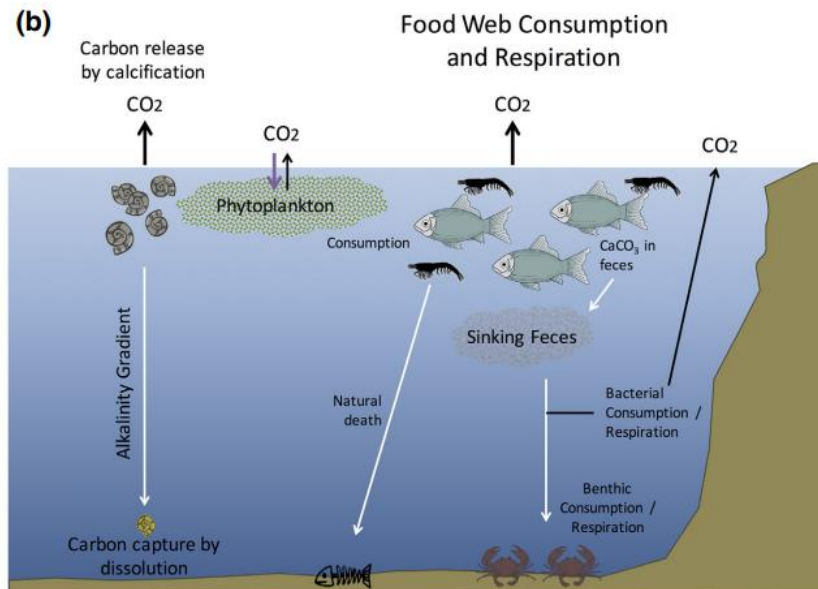
Premda se procjenjuje da ima umjeren bazen ugljika od 35 milijuna Mg C, kril ne uklanja ugljik iz same atmosfere, a većinu ugljika asimiliranog u biomasu krila putem potrošnje konzumiraju predatori više trofičke razine. (Howard i sur., 2017.).

Ljuštore organizama koje su građene kalcijevog karbonata mogu se ponašati kao balast koji prenosi organski ugljik u duboko more i na taj način ga sekvstrirati na duži period. Međutim, stvaranje  $\text{CaCO}_3$  na površini i njegovo otapanje tijekom potonuća na dno dovodi površinu do stanja lužnatosti, što smanjuje sposobnost površine oceana da apsorbira  $\text{CO}_2$ . Osim toga, organizmi građeni od  $\text{CaCO}_3$  grade svoje ljuske istim postupkom kalcifikacije kao i koralji, što rezultira istom proizvodnjom  $\text{CO}_2$ . Stoga, na temelju trenutnih znanstvenih podataka, smatra se da ti organizmi imaju ograničen utjecaj na ublažavanje klime kroz sekvestraciju ugljika (Howard i sur., 2017.).

Umjesto izravnog uklanjanja atmosferskog ugljika, koštunjače akumuliraju ugljik u svojoj biomasi konzumiranjem planktona ili drugih morskih organizama. Taj se ugljik kasnije oslobađa disanjem i defekacijom u obliku  $\text{CaCO}_3$ . Riblji izmet također ima visok sadržaj Mg, što povećava otapanje  $\text{CaCO}_3$  u blizini površine oceana. Ta ravnoteža između kalcifikacije i otapanja neutralizira veći dio  $\text{CO}_2$  koji se oslobađa zbog procesa kalcifikacije. Drugi aspekt izlučivanja ugljika putem ribljeg izmeta je taj što povećava brzinu kojom ugljik tone na dno oceana. Međutim, većina ribljeg izmeta brzo se troši, a ugljik u njima troše bakterije tijekom njegovog spuštanja. Time se ograničava količina ugljika u izmetu koji na kraju doseže duboki ocean i time se ograničava doprinos riba dugotrajnoj sekvestraciji ugljika u oceanu. Također nije jasno postoji li dodatna vrijednost sekvestracije koja proizlazi iz konzumiranja ribe i naknadnog izlučivanja. Na primjer, ugljik koji je izdvojio fitoplankton - bilo kao komponenta mrtvog fitoplanktona, biomase ribe ili ribljeg izmeta - na kraju će potonuti na morsko dno bez obzira na njegovu putanju (Howard i sur., 2017.). Morska fauna (ribe i kril) ne preuzima niti direktno hvata ugljik, već akumuliraju ugljik koji je preuzeo fitoplankton (ljubičasta strelica) (Slika 14.). Stvaranje  $\text{CaCO}_3$  na površini i njegovo otapanje tijekom potonuća dovodi do



dodatnog smanjenja sposobnost površine oceana da apsorbira CO<sub>2</sub>. Smatra se da niti jedan od ovih organizama ne izdvaja ugljik (Howard i sur., 2017.).



Slika 14. Morska fauna i izdvajanje ugljika

Izvor: Howard i sur., 2017.

Iako bi rast populacije riba, a time i biomase ribe, rezultirao privremenim povećanjem bazena ugljika u biomasi ribe, to ne bi utjecalo na dugoročnu sekvestraciju ugljika u dubokom oceanu iznad prirodne osnove. Ukratko, kalcifikatori, kril i koštunjače važne su komponente ciklusa ugljika u oceanima, ali ne doprinose dugotrajnoj sekvestraciji ugljika. Kalcifikacija u fekalnoj proizvodnji i stvaranju školjki izvor je CO<sub>2</sub>, a budući da ribe i kril ne uspijevaju ukloniti ugljik izravno iz atmosfere, ne mijenjaju bitno osnovni put kruženja ugljika koji se na kraju sekvestrira u oceanima. Stoga bi mjere upravljanja i politike koje dovode do promjena u populaciji ribe i krila imale zanemarivu vrijednost u dugoročnom ublažavanju klime. Osim toga, većina populacija morske faune boravi u otvorenom oceanu ili prelazi međunarodne granice. Iz svih ovih razloga, kalcifikatori, kril i koštunjače imaju ograničen potencijal da doprinesu naporima za ublažavanje klime (Howard i sur., 2017.).

## 6. ZAKLJUČAK

Pretjeran negativan utjecaj čovjeka na prirodu rezultirao je promjenama klime. Globalno zatopljenje ogleda se u promjenama koje nastaju u različitim ekosustavima na Zemlji, uključujući i morske, a tim promjenama se živi organizmi moraju prilagoditi kako bi opstali. Klimatske promjene utječu na morske ekosustave ponajviše u vidu povećanja kiselosti morske vode te povećanja temperature. Promjene koje nastaju mogu se podijeliti na fizičke i kemijske, obje imaju jak utjecaj na sam život morskih organizama te njihove populacije, a s obzirom da nerijetko morske populacije međusobno zavise jedna o drugoj, utječu i na funkcioniranje čitavog morskog ekosustava.

Iako klimatske promjene imaju veliki i snažan utjecaj na funkcioniranje morskih ekosustava, oni ponekad mogu i sami ublažiti posljedice pojave klimatskih promjena te tako pozitivno utjecati na njihovo smanjenje. Ne pomažu svi morski ekosustavi u ublažavanju posljedica globalnih klimatskih promjena, ali neki mogu imati veći ili manji utjecaj.

Obalni ekosustavi plavog ugljika kao što su mangrove, slane plimne močvare i morske cvjetnice dobar su primjer sustava za ublažavanja klimatskih promjena. Ovi ekosustavi imaju visoku stopu sekvestracije ugljika, djeluju kao dugoročni ponori ugljika i postoje strategije upravljanja njima. Nasuprot tome, drugi morski ekosustavi i komponente ekosustava kao što su koralji, alge i morska fauna, iako imaju utjecaj, nisu značajni ili dugoročni ponori ugljika. Fitoplankton je dugoročni ponor ugljika, no njegovo je razmatranje u politikama ublažavanja klime ograničeno zbog izazova povezanih s vlasništvom, upravljanjem i nedostatkom praktičnih metoda.

Unatoč ograničenjima, navedeni morski sustavi igraju vitalnu ulogu u održavanju osnove ugljikovog ciklusa u oceanu i pružaju mnoge druge usluge, uključujući zaštitu obale, stanište, sigurnost hrane i prihod od turizma. Spomenute ekosustave potrebno je obnavljati, očuvati i nipošto degradirati jer su napori za zaštitu i upravljanje tim morskim ekosustavima ključni su za održavanje sveopće dobrobiti.

Kada su obalni ekosustavi degradirani, izgubljeni ili pretvoreni u druge namjene zemljišta, velike zalihe plavog ugljika u tlu su ispuštene kao CO<sub>2</sub> u atmosferu ili ocean. Glavni uzroci pretvorbe i degradacije ekosustava plavog ugljika razlikuju se diljem svijeta, ali su

uglavnom potaknuti ljudskim aktivnostima. Upravljanje tim aktivnostima ključ je uspjeha za postizanje ciljeva i potreba vezanih uz ublažavanje klimatskih promjena.

Uobičajeni pokretači za degradaciju obalnih ekosustava su akvakultura, poljoprivreda, iskorištavanje šuma mangrova, kopneni i morski izvori onečišćenja te industrijski i urbani obalni razvoj. Potrebno je globalno razviti i implementirati brojne politike i strategije upravljanja obalnim područjem i dizajnirati alate koji će očuvati i obnoviti obalne ekosustave. Postoje mehanizmi koji potiču ublažavanje klimatskih promjena očuvanjem i obnovom prirodnih sustava, a mnogi od njih mogu se prilagoditi i primijeniti na obalne ekosustave. Neki od njih su smanjenje emisija kroz smanjeno krčenje šuma, financiranje akcija za ublažavanje klime koje mogu uključivati očuvanje obalnog ekosustava, pošumljavanje mangrova, demonstracijski projekti obalnog plavog ugljika na lokalnim razinama i sl.

Organizacije i pojedinci imaju ključnu ulogu u pokretanju transformacija vezanih uz ublažavanje klimatskih promjena. Svatko ponaosob može pridonijeti smanjenju količine ugljika koju emitira; pojedinac može utjecati kod donošenja odluka pri kupnji kuće, automobila, prehrane ili pak pri donošenju svakodnevnih odluka. Potrebno je činiti male stvari koje pozitivno utječu na ublažavanje klimatskih promjena poput, ukoliko je to moguće, odlaska na posao biciklom ili pješice umjesto automobilom, smanjene upotrebe plastike, jednokratne ambalaže, smanjene količine električne energije koja se koristi kod kuće, sadnje drveća u vlastitim dvorištima, izbjegavanje paljenja smeća ili trave i ostalih aktivnosti koje vode k smanjenju količine emitiranog ugljika jer su promjene životnih navika pojedinaca i različitih organizacija ključne za ublažavanje klimatskih promjena.

## POPIS LITERATURE

1. Benedetti-Cecchi, L. (2014.) Intertidal Rocky Shores. *Marine Community Ecology and Conservation*. Sinauer Associates: 203-225.
2. Howard, J. i sur. (2017.) Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Front Ecol Environ*. 15(1): 42–50.
3. Kandasamy, K., Bingham, B.L. (2001.) *Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems*. *Marine Biology*. 40: 81-251.
4. Lobell, D., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011.) Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science (New York, N.Y.)*. 333: 616-20.
5. Riedy, C. (2016.) Climate Change. *Blackwell Encyclopedia of Sociology*: 1-5.
6. Brazelton, W. (2017.) Hydrothermal vents. *Current Biology Magazine*. 27. [https://www.researchgate.net/publication/317374965\\_Hydrothermal\\_vents](https://www.researchgate.net/publication/317374965_Hydrothermal_vents) (10.08.2021.)
7. Balasubramanian, A. (2017.) The Carbon Cycle. [https://www.researchgate.net/publication/319057332\\_The\\_Carbon\\_Cycle](https://www.researchgate.net/publication/319057332_The_Carbon_Cycle) (21.10.2021)
8. Chen-Tung, A.C. (2008.) Effects of climate change on marine ecosystems. [https://www.researchgate.net/publication/228502482\\_Effects\\_of\\_climate\\_change\\_on\\_marine\\_ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/228502482_Effects_of_climate_change_on_marine_ecosystems) (23.08.2021.)
9. Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D. (2012.) Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-marine-041911-111611> (25.08.2021.)
10. Duarte, C., Borum, J., Short, F., Walker, D. (2008.) Seagrass ecosystems: Their global status and prospects. *Aquatic Ecosystems*. 281-294. [https://www.researchgate.net/publication/281475786\\_Seagrass\\_ecosystems\\_Their\\_global\\_status\\_and\\_prospects](https://www.researchgate.net/publication/281475786_Seagrass_ecosystems_Their_global_status_and_prospects) (21.10.2021.)
11. Duarte, C., Jiaping, W., Xiao, X., Bruhn, A., Krause-Jensen, D. (2017.) Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? *Front. Mar. Sci*. 4:100. [https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00100/full?RefID=EM2287\\_MktPartner\\_VOCE15](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00100/full?RefID=EM2287_MktPartner_VOCE15) (31.08.2021.)

12. Shahzad, U. (2015.) Global Warming: Causes, Effects and Solutions. Durrresamin Journal. 4 (1).  
[https://www.researchgate.net/publication/316691239\\_Global\\_Warming\\_Causes\\_Effects\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/316691239_Global_Warming_Causes_Effects_and_Solutions) (10.07.2021.)
13. Thompson, K., Miller, K., Johnston, P., Santillo, D. (2017.) Storage of carbon by marine ecosystems and their contribution to climate change mitigation. Greenpeace Research Laboratories. <https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2017/05/Carbon-in-Marine-Ecosystems-Technical-Report-March-2017-GRL-TRR-03-2017.pdf> (30.08.2021.)
14. Zhao, Q., Costello, M.J. (2019.) Marine Ecosystems of the World.  
[https://www.researchgate.net/publication/330733006\\_Marine\\_Ecosystems\\_of\\_the\\_World](https://www.researchgate.net/publication/330733006_Marine_Ecosystems_of_the_World) (10.08.2021.)
15. Europska komisija. (2009.) Climate change - what is it all about ?  
[https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/kh-81-08-360\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/kh-81-08-360_en.pdf) (18.07.2021.)
16. Europska komisija. (2019.) Going CLIMATE-NEUTRAL by 2050.  
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1> (29.07.2021.)
17. Europska komisija. (2018.) Zajednička borba protiv klimatskih promjena.  
[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/youth/docs/youth\\_magazine\\_hr.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/youth/docs/youth_magazine_hr.pdf) (10.07.2021.)
18. IPCC. (2007.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf) (24.10.2021.)
19. IPCC. (2018.) Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) (20.07.2021.)
20. NASA. (2017.) The Effects of Climate Change. <https://climate.nasa.gov/effects/> (18.07.2021.)
21. National Geographic Society. (2020.) Marine Ecosystem. Natgeoed.org.  
[http://media.nationalgeographic.org/assets/file/Marine\\_Ecosystems\\_1.pdf](http://media.nationalgeographic.org/assets/file/Marine_Ecosystems_1.pdf) (10.08.2021.)
22. National Geographic Society. (2020.) Marine Ecosystems  
<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/marine-ecosystems/> (10.08.2021.)

23. OCEANA Protecting the World's Oceans. (2012.) Open ocean.  
<https://oceana.org/marine-life/marine-science-and-ecosystems/open-ocean>  
(13.08.2021.)
24. Project Oceanography. (2002.) Kelp forests.  
<https://www.marine.usf.edu/pjocean/packets/sp02/sp02u1p4.pdf> (10.08.2021.)
25. The staff of the Coral Reef Alliance (CORAL). (2003.) Introduction to Coral Reef Ecosystems, Threats, and Solutions.  
<https://www.sprep.org/att/IRC/eCOPIES/Global/264.pdf> (10.08.2021.)
26. US National Academy of Science. (2020.) Climate Change Evidence & Causes Update 2020.  
[https://royalsociety.org/~media/royal\\_society\\_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf](https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf) (10.07.2021.)
27. US Public Health Institute/Center for Climate Change and Health. (2016.) Climate Change 101: climate science basics. <https://climatehealthconnect.org/wp-content/uploads/2016/09/Climate101.pdf> (29.07.2021.)
28. USGCRP. (2016.) Appendix 5: Glossary and Acronyms. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 307–312.  
<https://www.globalchange.gov/climate-change/glossary#top> (29.07.2021.)
29. WWF - World Wildlife Fund. The effects of climate change.  
<https://www.wwf.org.uk/learn/effects-of/climate-change> (18.07.2021.)
30. <https://www.thebluecarboninitiative.org/about-blue-carbon> (22.10.2021.)
31. <http://climatecat.eu/uFAQs/3-how-exactly-does-the-greenhouse-effect-work-in-detail/>  
(18.07.2021.)
32. <http://berkeleyearth.org/global-temperatures-2017/> (18.07.2021.)
33. <https://www.sailingeurope.com/blog/why-coral-reef-protection-is-very-important>  
(18.07.2021.)
34. [https://www.cell.com/current-biology/comments/S0960-9822\(17\)30159-8](https://www.cell.com/current-biology/comments/S0960-9822(17)30159-8)  
(18.07.2021.)
35. <https://oceana.org/marine-life/corals-and-other-invertebrates/giant-kelp> (29.07.2021.)
36. <https://www.reforestaction.com/en/blog/focus-mangrove> (29.07.2021.)
37. <http://evaluationworks.co.nz/transition-for-evaluation-works-as-robyn-bailey-departs/>  
(10.08.2021.)

32. <https://www.earth.com/earthpedia-articles/salt-marsh/> (10.08.2021.)