

KLIMATSKE PROMJENE NA SREDOZEMLJU

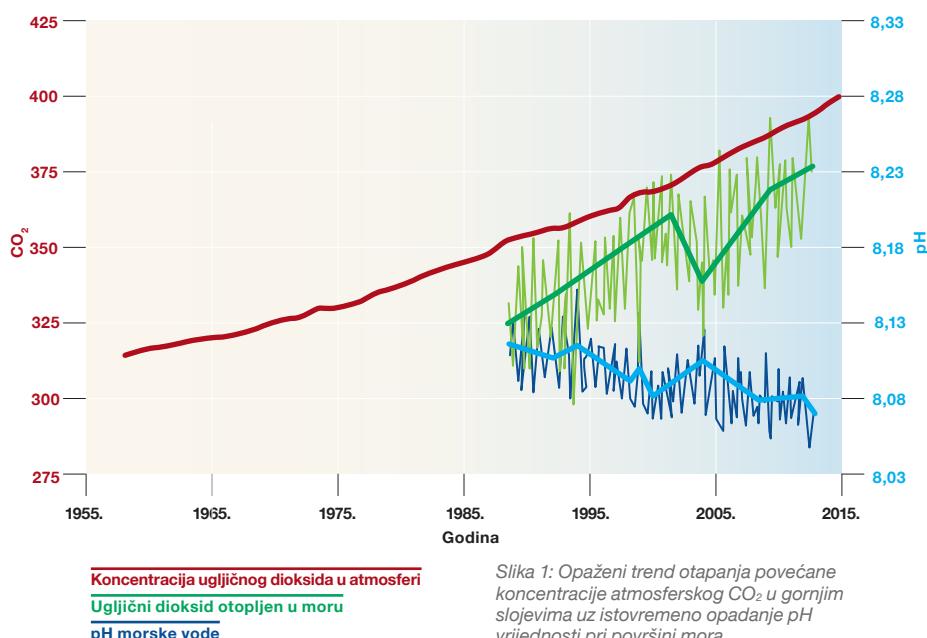
Utjecaj zakiseljavanja na zaštićena morska područja

Ovom informativnom brošurom predstavljaju se najnoviji podaci o zakiseljavanju mora koji ukazuju na promjene što pogadaju Sredozemno more i daju uvid u njegovu budućnost, a mogu imati značajne posljedice i na njegova zaštićena morska područja. Dio je to serije informativnih brošura o klimatskim promjenama osmišljenih radi informiranja svih upravitelja zaštićenih morskih područja Sredozemlja.

KOJI SU UZROCI?

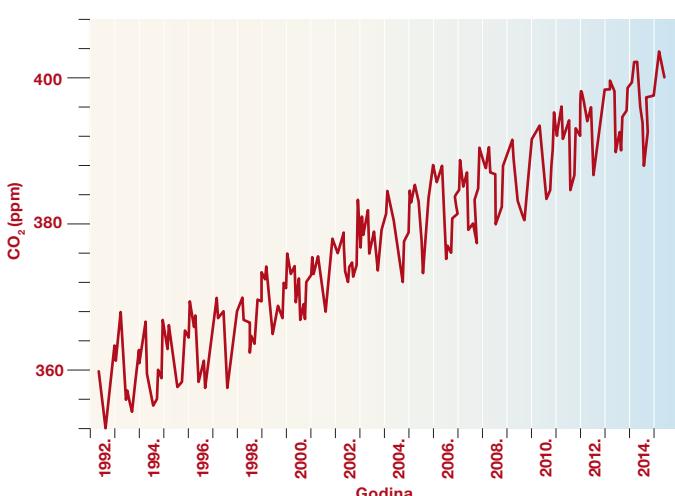
Kada se dodatni ugljični dioksid (CO_2) uslijed ljudskih aktivnosti ispušta u atmosferu i otapa u moru (zbog izgaranja fosilnih goriva, krčenja šuma i proizvodnje cementa), događa se niz kemijskih reakcija, a proces se zajednički naziva **zakiseljavanje oceana**.

CO_2 se otapa u morskoj vodi, pri čemu nastaje ugljična kiselina, mijenjajući kemijsku očekivanja prema kiselijim uvjetima. Te kemijske promjene utječu na sposobnost sustava da se prirodno prilagodi dalnjim promjenama CO_2 , što se prirodno događa tijekom više tisućljeća; time značajno mijenjaju kemijsku morsku vodu, što dovodi do progresivnog zakiseljavanja.



Slika 1: Opaženi trend otapanja povećane koncentracije atmosferskog CO_2 u gornjem slojevima uz istovremeno opadanje pH vrijednosti pri površini mora.

KOJA SU POSTOJEĆA ZAPAŽANJA I PROJEKCIJE NA GLOBALNOJ RAZINI TE NA PODRUČJU SREDOZEMLJA?



Oceani su **prirodno lužnati**, s prosječnim pH vrijednostima oko **8,2**. Od početka industrijske revolucije pH površine oceana pao je za 0,1 pH jedinicu zbog povećane apsorpcije dijela CO₂ iz atmosfere. Ova promjena, čak iako se naizgled ne čini značajnom, zapravo predstavlja povećanje kiselosti od približno 30 % (povisujući **pH vrijednost na 8,1**) te neprirodno mijenja kiselo-baznu ravnotežu morske vode prema kiselijim uvjetima.

Ukoliko se emisije CO₂ ne smanje (tzv. „Business as usual“), projekcije za budućnost pokazuju da bi se do 2060. godine kiselost morske vode mogla povećati za 120 %.

Slika 2: Prikaz srednjih mjesecnih vrijednosti atmosferskih koncentracija CO₂ izmjerenih na Postaji za promatranje klime na otoku Lampedusa u središnjem Sredozemlju.

Zakiseljavanje Sredozemnog mora

Zakiseljavanje utječe na sve oceane i mora, ali ne u jednakoj mjeri. Za Sredozemno su more procjene zakiseljavanja temeljene na *in situ* mjerjenjima malobrojne, no određene značajke ovog poluzatvorenog mora čine ga posebno osjetljivim na povećanje atmosferskog CO_2 te izgleda da je kao takvo jedno od svjetskih mora najbrže pogodenih zakiseljavanjem. Stoga je koncentracija antropogenog CO_2 u Sredozemnom moru veća nego u Atlantskom oceanu i Tihom oceanu na istoj geografskoj širini, i veća nego kod ostalih manjih mora na sjevernoj hemisferi.

Nekoliko dostupnih skupova podataka dobivenih *in situ* mjerjenjem u Sredozemnom moru ukazuju na to da je tijekom protekla dva desetljeća kiselost već porasla za više od 10 %, što je jednako smanjenju pH vrijednosti morske vode od ~0,04 (0,0022 - 0,0025 pH jedinica godišnje). Morska područja poput Sjevernog Jadranu, okružena intenzivnim industrijskim aktivnostima, zabilježila su viši proces zakiseljavanja (od 0,0025 pH jedinica godišnje).

Sadašnja je stopa promjene zakiseljavanja u svim oceanima 10 puta brža nego što je bila u posljednjih 55 milijuna godina.



Zakiseljavanje utječe na stvaranje karbonata

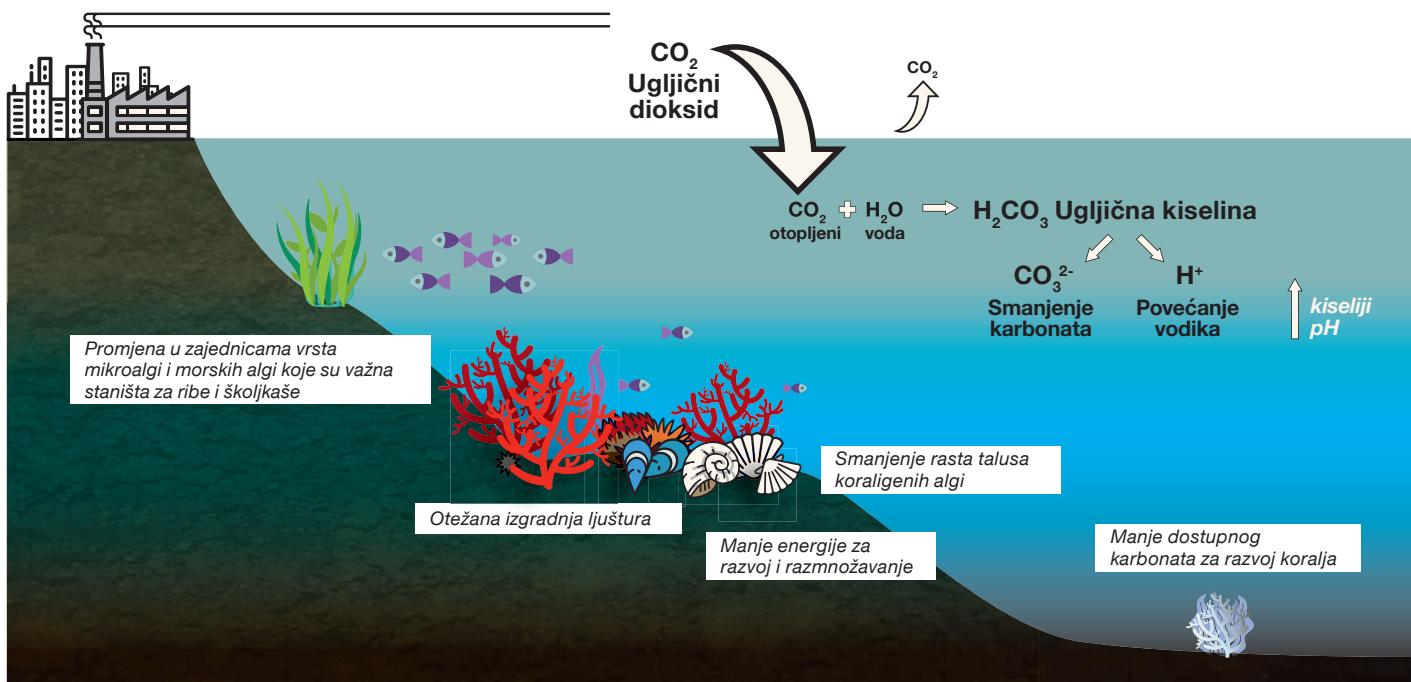
Zakiseljavanje smanjuje količinu karbonata, ključnog gradivnog elementa u moru. Stvaranje kalcijevog karbonata u moru kontrolira se količinom dostupnih karbonatnih iona, što je poznato kao karbonatno zasićenje. Kako se pH morske vode smanjuje (prema kiselijim uvjetima), karbonatno zasićenje opada. To znači da je u morskoj vodi postupno sve manje karbonata kao gradivnog elementa, potrebnog za kosture i ljušturu od kalcijevog karbonata (CaCO_3), morskih organizama kao što su koralji, školjkaši i morski plankton. Štoviše, kako se pH pri morskoj površini smanjuje, dubina se karbonatnog zasićenja kreće prema gore, prema površinskim vodama, smanjujući dostupna staništa organizmima koji koriste kalcijev karbonat za izgradnju svojih ljuštura i kostura.

Predviđene promjene

Predviđanja ukazuju na to da će naši oceani i mora nastaviti apsorbirati ugljični dioksid, što će dodatno povećati njihovu kiselost. Neka pak predviđanja najavljuju kako će povećanje količine CO_2 u atmosferi dugoročno rezultirati smanjenjem sposobnosti oceana i mora da ga apsorbiraju, što će opet imati za posljedicu brži rast atmosferskog CO_2 . Procjene budućih razina ugljičnog dioksida, temeljene na uobičajenim scenarijima emisije, ukazuju da bi do kraja ovog stoljeća površinske vode oceana mogle doseći razine kiselosti do 120 %, a možda čak i do 150 % više u usporedbi s predindustrijskim vremenima. To upućuje na zaključak da bi prema trenutnim projekcijama pH morske vode mogao doseći vrijednost od 7,7 do kraja ovog stoljeća, što je pad od nekih 0,5 pH jedinica.

Zakiseljavanje će se u nekim regijama Sredozemlja događati brže. Vjerojatno će se u sljedećih pedeset godina povećati za za 60 %, a krajem stoljeća i za 150 %, s procjenama smanjenja pH vrijednosti od 0,07 do 0,13 jedinica, što odgovara stopi od $0,002 \pm 0,001$ pH jedinice godišnje.

Povećanje atmosferskog CO_2 ograničava razvoj u oceanima



KAKO ZAKISELJAVANJE OCEANA UTJEĆE NA STANIŠTA I VRSTE ZAŠTIĆENIH MORSKIH PODRUČJA?

Zakiseljavanje oceana jedan je od ključnih procesa za koje se očekuje da će imati velik utjecaj na morske ekosustave i njihovu sposobnost da apsorbiraju CO_2 u nadolazećim godinama.

Nadalje, utvrđeno je da su obalne vode izložene većoj varijabilnosti pH vrijednosti od otvorenog oceana zbog unosa ugljika i/ili hranjivih tvari s kopna.

Istraživanja ukazuju da zakiseljavanje može imati ozbiljan utjecaj na razvoj i opstanak mnogih organizama sa strukturama od kalcijevog karbonata, a time i na sastav i produktivnost morskih zajednica, podjednako u plitkim kao i u dubokim dijelovima mora.

Dokazi o specifičnim utjecajima zakiseljavanja na bioraznolikost mora trenutno su, međutim, ograničeni. Eksperimentalna i *in situ* promatranja već su pokazala da zakiseljavanje oceana može utjecati na rast, sastav i proizvodnju morskih zajednica. Neki će organizmi tolerirati veću kiselost, no ukupne će se promjene u zajednicama razlikovati prema područjima. Promjene u sastavu vrsta, koje se događaju pri različitim pH vrijednostima, upućuju na to da se kalcificirajuće vrste (npr. koralji, morski ježinci, koraligene alge) neće moći natjecati za resurse s drugim, nekalcificirajućim organizmima (npr. smeđim algama *Padina spp.*) pri suočavanju s nižim pH vrijednostima u njihovom okruženju.



Sažetak današnjih spoznaja o utjecaju na sredozemna staništa i vrste

1. Pokazalo se da zakiseljavanje i zagrijavanje mora utječe na neke vrste školjkaša (npr. dagnju *Mytilus galloprovincialis*) te iako nije uvijek jasno zašto su neke vrste otpornije od drugih, veća je vjerojatnost da će se opstanak i rast populacija različitih vrsta školjkaša smanjiti u narednim desetljećima.
2. Sadašnja saznanja (uglavnom iz laboratorijskih pokusa) pokazuju da će divlje i uzgojne vrste riba biti relativno otporne na zakiseljavanje oceana, iako bi njihove ličinke mogle biti osjetljivije.
3. Smanjenje dubine karbonatnog zasićenja posebno će utjecati na vrste hladnih i dubokih staništa, kao što su hladnomorski koralji, na način da mijenjaju strukturu tijela i otpornost organizama, čineći ih vrlo ranjivima.
4. Terenska istraživanja kod vulkanskih otoka Vulcana i Ischie (morskih lokacija s prirodnim podmorskим ispustima CO_2 , čiji su okolišni uvjeti istovjetni okruženjima s visokim CO_2

i niskim pH vrijednostima, kakve nas očekuju u budućnosti), pokazala su da morske cvjetnice (*Posidonia oceanica* i *Cymodocea nodosa*) i određene alge mogu imati koristi od povišenih razina CO_2 . Lagano zakiseljavanje može stimulirati rast biljaka i povećati njihovu biomasu te smanjiti pokrov epifita. Ujedno, može povećati kapacitet morskih cvjetnica u neutralizaciji CO_2 , istovremeno smanjujući njihov pozitivan utjecaj na okoliš, kao što su vrijednosti hranidbenog područja i mrjestilišta za ribe. Međutim, nedavna istraživanja ukazuju da bi međudjelovanje učinaka zakiseljavanja i zagrijavanja morske vode moglo ograničiti kapacitet morskih cvjetnica.

5. Kalcificirajuće koraligene alge, kao važni gradivni element sredozemnih rodolitnih dna i koraligenih staništa, među najranjivijim su organizmima podložnim zakiseljavanju oceana. Primjerice, nedavni su pokusi pokazali kako uvjeti s visokim vrijednostima

CO_2 i temperature smanjuju stopu rasta sredozemnih koraligenih algi vrste *Lithophyllum cebiochae* do 60 % te pojačavaju nekrozu (odumiranje tkiva), što može proizvesti strukturne promjene u pridnenim zajednicama na različitim lokacijama u Sredozemlju.

6. Sadašnje studije ukazuju da će zakiseljavanje oceana uzrokovati velike promjene u broju i obilju zajednica mikro i makro algi uz osiromašenje sastava plitkomorskih zajednica s padom pH vrijednosti. Potencijalni gubitak nekih od ovih biljnih vrsta, koje su važna staništa za ribe, školjkaše i mnoštvo drugih organizama, zabrinjavajući je.
7. Prilagodbe i dugoročni učinci na biološku raznolikost Sredozemlja u velikoj mjeri ostaju nepoznati.

VRIJEDNOSTI ZAŠTIĆENIH MORSKIH PODRUČJA

Kako zaštićena morska područja doprinose procesu prilagodbe na zakiseljavanje oceana i smanjuju potencijalne opasnosti?

Naša će mora biti izložena učincima CO₂ i procesu zakiseljavanja duže vrijeme, čak i ako se antropogene emisije danas značajno smanje.

Zaštićena morska područja mogu pomoći u nošenju s utjecajima zakiseljavanja oceana na više načina:

- Osiguravanjem da se unutar granica morskog zaštićenog područja odrede velike zone najstrože zaštite i da ta područja uključuju vrste i staništa osjetljive na zakiseljavanje, kako bi se drugi antropogeni stresovi što je moguće više smanjili.
- Razvojem odgovarajućih mjera upravljanja kako bi se smanjila emisija ugljičnog dioksida i ugljični otisak te korištenjem obnovljivih izvora energije.
- Praćenjem okolnih voda uvođenjem pH senzora te povezivanjem znanstvenih timova i institucija u sklopu programa monitoringa. Važno je imati *in situ* izmjerene pH vrijednosti, bolje razumjeti uzroke i utjecaje na morski život te znati kako reagirati.
- Povećanjem očuvanosti livada morskih cvjetnica kako bi se potaknula njihova sposobnost pohrane ugljika.
- U nekim zaštićenim morskim područjima - smanjenjem turističkog pritiska na ranjiva staništa reguliranjem ronilačkih zarona.
- Poticanjem obnove i oporavka kalcificirajućih vrsta kao što su koralji (npr. fragmenti koralja, grane) i osiguravanjem dugoročnog praćenja oporavka tih populacija.
- Djelujući kao žarišna točka za promicanje znanja i osvještenosti o klimatskim promjenama, što uključuje edukaciju o štetnim utjecajima emisije ugljičnog dioksida na život oceana i mora te poticanje posjetitelja na smanjivanje svog osobnog ugljičnog otiska.

BIBLIOGRAFIJA:

Cao, L., et al., 2014. Response of ocean acidification to a gradual increase and decrease of atmospheric CO₂. Environmental Research Letters, 9(2), 1-9.

Ciardini et al., 2016. Global and Mediterranean climate change: a short summary. Ann Ist Super Sanità , Vol. 52, No. 3: 325-337.

Gattuso et al. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. Science 349:aac4722.

Gattuso et al. 2018. Ocean Solutions to Address Climate Change and Its Effects on Marine Ecosystems. Front. Mar. Sci. 5:337.doi: 10.3389/fmars.2018.00337

Geri, P., El Yacoubi, S., Goyet, C., 2014. Forecast of sea surface acidification in the North Western Mediterranean Sea. J. Comput. Environ. Sci. 7. Article ID 201819.

Lacoue-Labarthe et al., 2018. Impacts of ocean acidification in a warming Mediterranean Sea: An overview. Regional Studies in Marine Science 5, 1–11.

Laffoley, D., Baxter, J.M., Turley, C. and Lagos, N.A., (editors). 2017. An introduction to ocean acidification: What it is, what we know, and what may happen. IUCN, Gland, Switzerland, 24 pp.

Luchetta et al., 2010. New observations of CO₂ – induced acidification in the northern Adriatic Sea over the last quarter century, Chemistry and Ecology, 26:sup1, 1-17.

Merlivat et al., 2018. Increase of dissolved inorganic carbon and decrease in pH in near-surface waters in the Mediterranean Sea during the past two decades. Biogeosciences, 15, 5653–5662.

Vizzini et al., 2019. Plant and sediment properties in seagrass meadows from two Mediterranean CO₂ vents: Implications for carbon storage capacity of acidified oceans. Marine Environmental Research. Vol 146, 101-108.

www.medsea-project.eu.

ENEA Klimatološka postaja "R. Sarao" na otoku Lampedusa, blizu zaštićenog morskog područja Isole Pelagie



<https://mpa-adapt.interreg-med.eu/>

@MPA_adapt

Razrada i dizajn:

IUCN Centar za mediteransku suradnju, 2019.

MPA-ADAPT PROJEKTNI PARTNERI:

