

Problem globalnog zatopljenja

Globalno zatopljenje je jedna od omiljenih tema razgovora znanstvenika, ali i običnih ljudi koji klimatske promjene osjete na svojoj koži. Definitivno, to je i tema oko koje se često suprotstavljaju stavovi i razilaze mišljenja: globalno zatopljenje kao antropogeni proces ili globalno zatopljenje kao prirodni proces?

No što je zapravo globalno zatopljenje? Globalno zatopljenje je zapravo dugotrajno zagrijavanje Zemljinog klimatskog sustava koji se opaža od predindustrijske ere, a koje je nastalo ljudskom aktivnošću. Često se može zamijeniti pojmom klimatske promjene (eng. climate change), iako pojam klimatske promjene obuhvaća prirodna i ljudska djelovanja na zatopljenje kao i na utjecaje koje ono daje. Može se zapravo reći da je klimatska promjena, promjena u velikom vremenskom intervalu (nekoliko desetljeća i više) gdje se mijenjaju prosječne lokalne, regionalne i globalne klime.

Povijesni pregled

Zemlja je kompleksan sustav koji se sastoji od složenih i čvrsto povezanih procesa. Od njenog začetka prije otprilike 4,6 milijardi godina kada je Zemlja još bila ništa drugo doli velika užarena kugla, ti procesi su se postepeno ispreplitali, razvijali i stvarali mnoštvo faktora i sitnih detalja koji su ju oblikovale u možda najljepši planet Sunčevog sustava. Iz tog razloga danas imamo atmosferu, morske struje, godišnja doba i ostale prirodne čimbenike na koje smo u svakodnevnom životu jednostavno navikli, ali i koji nose težak teret stabilnosti cjelokupnog sistema. Unatoč tome što su možda i najmoćniji faktori koji uzrokuju najekscentričnije udare na tu Zemljinu harmoniju

suživota poput pomicanja litosfernih ploča (ovdje mislimo na posljedice tih pomicanja kao što su siloviti potresi), ipak su ti pomaci vječni svjedoci za ono što nama ljudima uistinu najviše zapinje za oko i ono na što i sami utječemo, a to su klimatske promjene.

Najprije definirajmo klimu, čija je riječ grčkog porijekla od riječi clima, što znači nagib. To je skup meteoroloških čimbenika i pojava koje u određenom vremenskom periodu čine prosječno stanje atmosfere nad nekim dijelom Zemljine površine. U prošlosti, kao i sada klima Zemlje se često mijenjala, a uzroci tih promjena nisu u pot-

punosti razjašnjeni iako više-manje znamo što je sve trebalo uzeti u obzir. Ipak, konkretna mjerenja stanja atmosfere koja bi mogla pomoći u odgonetanju te nepoznanice su započeta tek prije nekih 200 godina, što je zanemarivo mali period u odnosu na starost našeg planeta. Iz tog razloga smo primorani proučavati povijesna saznanja o našoj Zemlji i iz njih izvlačiti konkretne podatke o promjenama klime. Najpoznatiji primjer tih proučavanja bila bi ledena doba.

Ledeno doba je razdoblje koje se tijekom prošlosti odvijalo nekoliko puta i za vrijeme kojeg je dolazilo do zaleđivanja kontinenata, glacijacije (stvaranja ledenjaka) i naglog zahlađenja. Smatra se da su prva tri nastupila u kriptozoiku – razdoblje od samog nastanka Zemlje do evolucije višestaničnih organizama prije otprilike 542 milijuna godina. Sve što znamo o tom razdoblju otkriveno je u posljednjih 400 do 500 godina, što potvrđuje već navedenu tezu o povijesnim promatranjima Zemlje i izvlačenju konkretnih saznanja. Zatim je uslijedilo jedno ledeno doba u devonu (prije otprilike 400 milijuna godina) te u gornjem karbonu i permu (prije otprilike 295 milijuna godina). Posljednje ledeno doba je nastupilo u pleistocenu (razdoblje od 2,558 milijuna godina do približno 8000 godina prije Krista). Pleistocen se dijeli na glacijale i interglacijale. Glacijali su bili ledena razdoblja u kojima se kontinentalni led širio daleko na jug. Različito su trajali i bili su različitog intenziteta. Međutim, interglacijali su razdoblja između dva glacijala u kojima je temperatura naglo rasla, velike količine leda su se topile te su se dizale razine mora i mijenjali ekološki uvjeti na Zemlji.

Prijelazi iz glacijala u interglacijale, poznatiji kao glacijalne terminacije, već dugo predstavljaju enigmnu za znanstvenike.

Ravnatelj Hrvatskog geološkog instituta dr. sc. Slobodan Miko navodi kako su najšire prihvaćeni uzroci glacijalnih terminacija promjene u geometriji Zemljine orbite što utječe na količinu Sunčeve

energije koja dolazi do Zemljine površine – insolacija. Tu su prisutna dva glavna orbitalna parametra – precesija i nutacija. Najjasniji dokazi glacijalnih terminacija zapisani su u izotopnom sastavu dubokomorskih sedimenata i sige, koje za razliku od dubokomorskih sedimenata, mogu biti radiometrijski datirane što otvara mogućnost testiranja orbitalnih teorija. Rezultati rada nalažu da su počeci obiju terminacija vezani za nagib Zemljine osi te da su za vrijeme jačega nagiba Zemljine osi ljeta dulja i ljetna insolacija snažnija, što uzrokuje topljenje ledenih pokrova na sjevernoj polutci što vrijedi i za devet mlađih glacijalnih terminacija čija je trajnost bila od nekoliko tisuća do preko 10 000 godina. Konačni zaključak analiza rezultata znanstvenika je objasnio da duljina terminacije ovisi o količini ljetne insolacije na sjevernoj polutci iznad ledenih pokrova u vrijeme početka iste – što je ljetna insolacija na početku viša, led se topi brže i terminacija je kraća.

Istraživanja su dala uvid o samo nekim čimbenicima koji su imali udio u glacijalnoj terminaciji te ih je izuzetno teško sve obuhvatiti te donijeti čvrst i točan zaključak, kao i dokaz o izmjeni ledenih doba i njihovoj ovisnosti o njima. Znanost je razvila i dva pristupa ovoj problematici, točnije dvije teorije. Prvi pristup glavne uzroke traži na Zemlji i naziva se terestrički, dok drugi traži svoje pokretače u svemiru i zove se astronomski. Obje teorije pružaju mnoštvo informacija, ali samo jedno je sigurno – ne smiju se nikada gledati zasebno. Nijedan od faktora vjerojatno sam po sebi nije presudan i svi se na svoj način nadopunjuju i mijenjaju kroz vrijeme. Uzimajući u obzir i vremenske raspone, ciklusa izmjene ledenih doba jednostavno nema. Ona nisu konstantna i rezultat su spleta faktora koji se povezuju u tim presudnim trenucima nastanka ili iščezavanja ledenog doba. Možda i možemo predvidjeti kada će nastupiti sljedeće, ali potrebno je dugo vremensko razdoblje i svašta bi se moralo „poklopiti“.

Izmjene ledenih i toplih doba su velikih temperaturnih promjena i dugih perioda. Međutim, naši preci vidjeli su izgleda zahlađenje malih razmjera koje je za našu vrstu ipak imalo pozamašan utjecaj. Europska klima je za vrijeme antike bila hladnija nego danas. Rimske legije su zimi prelazile zaleđenu rijeku Rajnu za koju danas znamo da se ne zamrzava. Oko 1400. godine započelo je razdoblje viših temperatura u kojem su se izmjenjivali ekstremi, suše i poplave te blage i oštre zime. Zatim je Zemlja polagano ušla u fazu sve intenzivnijih zima te je početkom 16. stoljeća došlo razdoblje vlažnih ljeta i dugih i hladnih zima, čiji je rezultat bio pad prosječne godišnje temperature za 1-1.5 °C. Ovo razdoblje je poznato pod nazivom malo ledeno doba. Obale Islanda su tada bile po nekoliko mjeseci okovane ledom što je uzrokovalo velike probleme za ribolov. Poznati su nam i podaci o varijacijama razine Kaspijskog jezera - najnižu razinu je dosegno oko 1600. godine, nakon čega je uslijedio porast oko 1660. te ponovni pad oko 1720. godine. Ove varijacije se pripisuju izmjenama vlažnih i suhih razdoblja u trajanju do nekoliko godina i pokazuju nekonzistentnost klime unutar malog ledenog doba.

Malo ledeno doba je na području Europe završilo u 19. stoljeću te je zatim uslijedio temperaturni porast koji i danas traje te ga nazivamo globalno zatopljenje. U posljednjih sto godina zemljina površina se najviše zagrijala još od osmog stoljeća. Između 1906. i 2006. prosječna temperatura je narasla za 0,6 do 0,9°C te se brzina rasta temperature u posljednjih 50 godina gotovo udvostručila. Istraživanja su pokazala da postoji čvrsto vezana korelacija između prirodnih i ljudskih procesa u modernom dobu te o tome slijedi u ostatku teksta.

Promjena razine mora

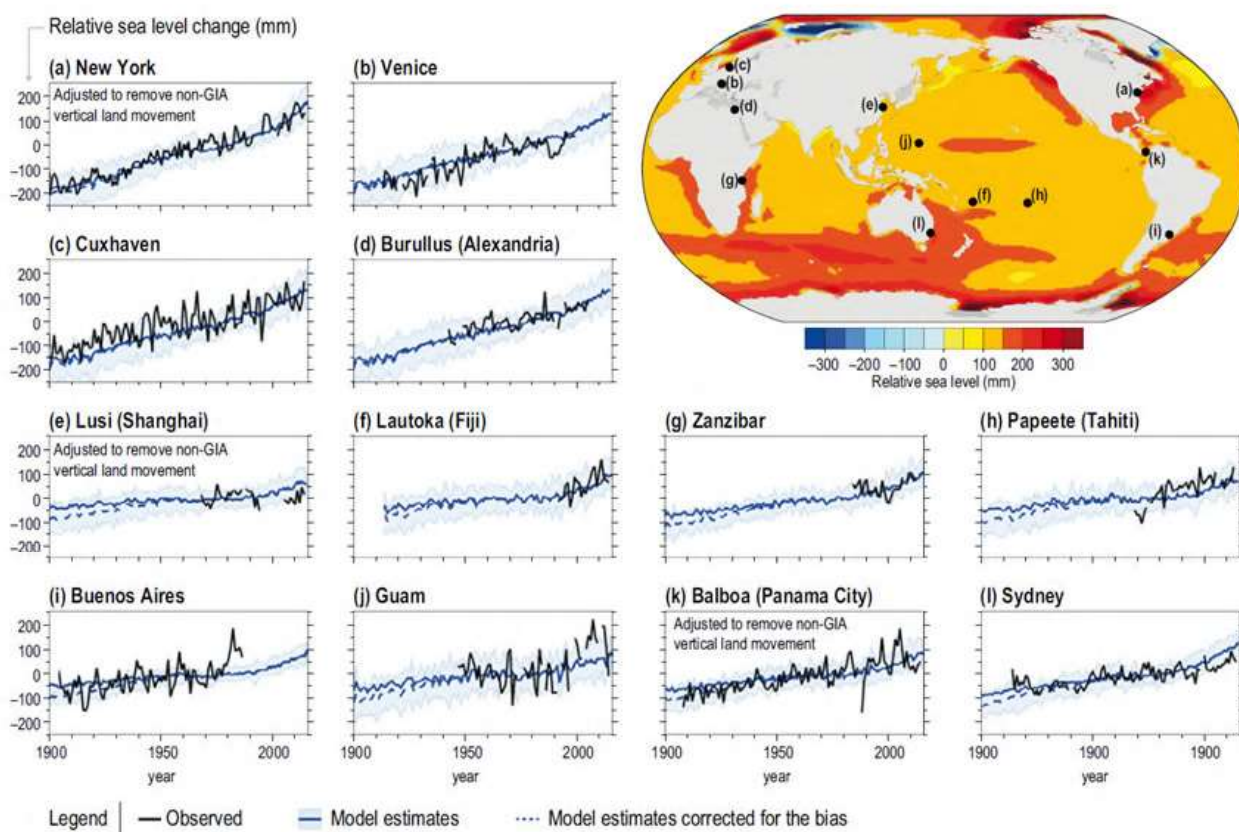
Trenutno možda i najaktualniji problem kojeg vežemo za globalno zatopljenje je porast razine mora. Zemlja je 71% svoje površine pod vodom te time ovaj porast predstavlja veliki rizik kako za ljudsku zajednicu, tako i za životinjska staništa. Stoga, zaronimo u informacije vezane za ovaj neizbježan efekt kojeg nas Zemlja izlaže.

Prije svega, moramo uvesti pojam geodetske nule. Geodetska nula tradicionalno je osnova za geodetska mjerenja. Ona predstavlja visinsku osnovu geodetske izmjere na kopnu, a definira se kao srednja razina mora izračunata iz višegodišnjih mareografskih mjerenja visine razine mora. Pri tome se u stručnoj oceanografskoj i geodetskoj literaturi preporučuje da vremensko razdoblje iz kojega se računa srednja razina mora bude period od 18.6 godina, što odgovara vremenu periodičke promjene Mjesečeva i Sunčeva utjecaja na Zemlju kojeg nazivamo nutacija. Geodetska nula ima važnu ulogu u hidrotehničkim i građevinskim radovima, gdje je kod izgradnje objekata na morskoj obali ili u podmorju neposredno uz obalu važno znati gibanje razine mora (ekstremne vrijednosti amplitude morskih mijena) da bi se osigurala zaštita objekata od plavljenja i udara snage valova. Nadolazeći problem je određivanje geodetske nule u budućnosti jer je porast razine mora dose-

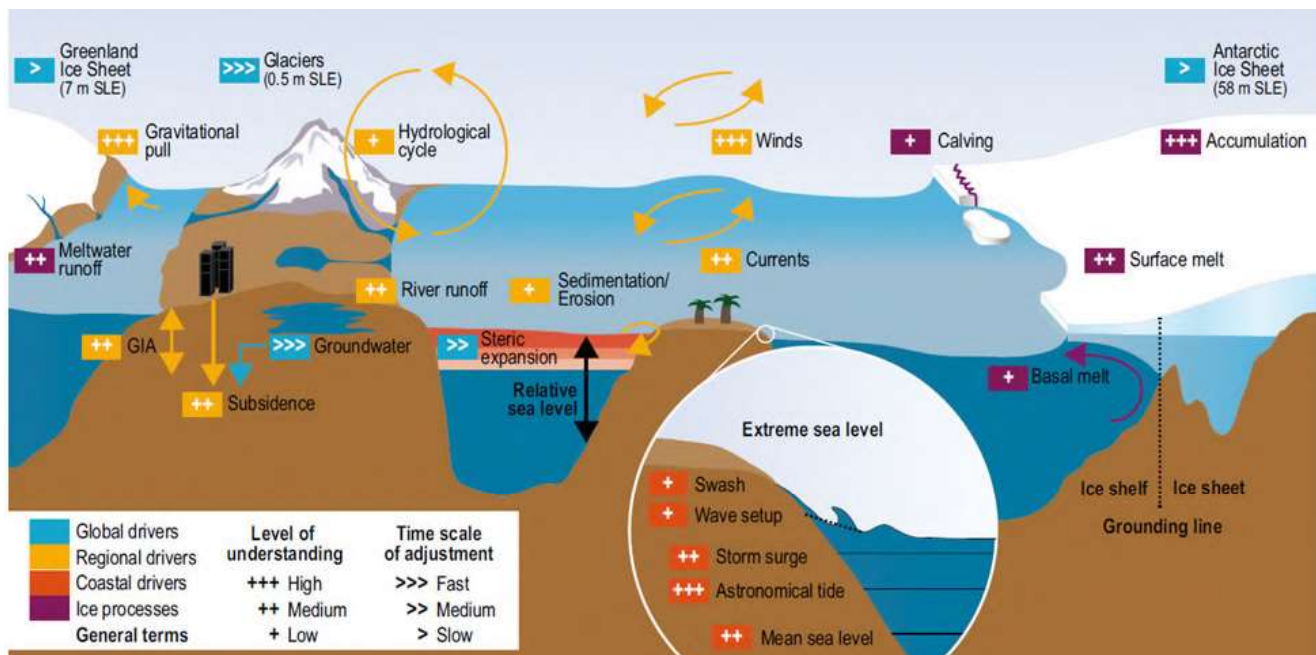


gao nikad veću brzinu i ovim tempom nastaviti će rasti i još brže. Unatoč tome, dosadašnji tehnološki napredak, koji je iz dana u dan sve veći i veći i koji je uvijek bio usko povezan s geodezijom, će vrlo vjerojatno omogućiti kvalitetno rješenje.

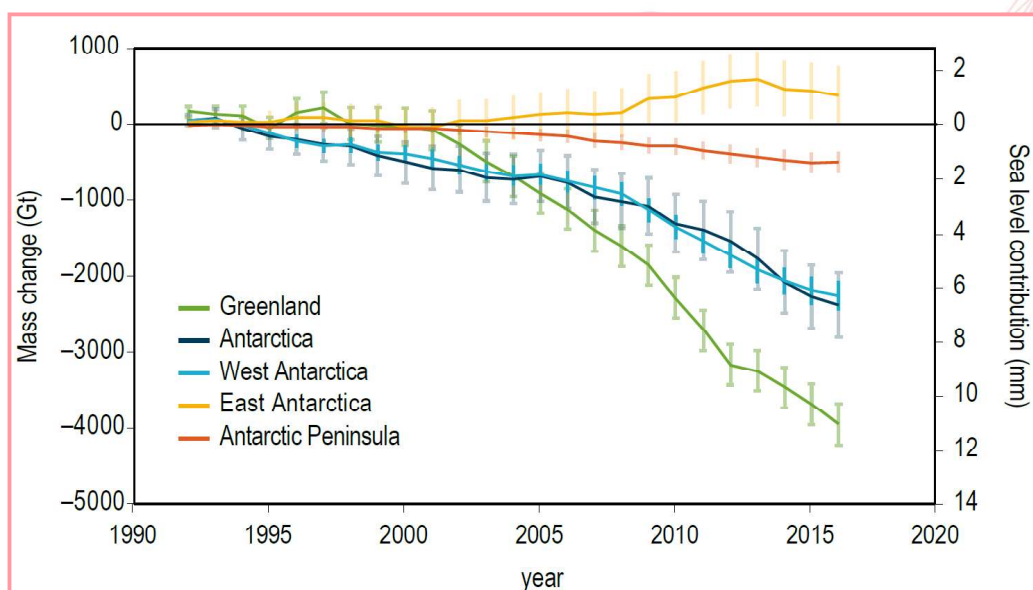
Promjena razine mora posljedica je prirodnih i antropogenetskih promjena. Promatramo promjenu GMSL (Global Mean Sea Level) tako da se eliminira utjecaj kratkih promjena – tipa valovi i plime. Porast volumena mora i oceana zbog gubljenja kopnenog leda i smanjenja gustoće oceana (zbog toplih voda) utječu na preraspodjelu vodenih masa na Zemlji te direktno utječe na Zemljinu rotaciju i ubrzanje sile teže. Na većini mjesta na Zemlji, gledano regionalno, promjena razine mora je reda veličine par milimetara godišnje. Na sljedećoj slici vidljive su relativne promjene razine mora koje prikazuju promatranje, predviđene i korigirane predviđene promjene u odnosu na klimatske modele za ta područja koja su označena na karti uz prikaz mora uz skalu boja koja ukazuje na razine mora na globalnoj razini. Priča o porastu razine mora ne smije se spomenuti bez najvećeg izvora vode na svijetu, a to su Gren-



land i Antarktika. Ta područja pod debelim pokrivačem leda, dakle, mogu imati najveći utjecaj na promjenu razine mora, kako kroz gubitak, tako i kroz dobitak ledenih rezervi. Na varijacije tih rezervi utječu atmosferski procesi, odlamanje ledenjaka i njihovo otapanje. To nisu jednostavni procesi te ih stoga ne možemo tako jednostavno modelirati na većim razinama i predviđati neki siguran ishod događaja kojim bi predvidjeli porast na određenom području.



Na sljedećoj slici izvučenoj iz Posebnog izvještaja o oceanima i kriosferi u klimatskim promjenama Međunarodnog odbora za klimatske promjene (IPCC) iz 2019. prikazane su klimatski i neklimatski procesi koji utječu na globalnu, regionalnu, relativnu i ekstremnu razinu mora uz obale. Trenutno aktualni gubitak mase leda na već navedenim područjima Grenlanda i Antarktike je rezultat povećanja temperature mora koja dovodi do manje gustoće oceana i povećanja volumena – srednje razine mora. To će uzrokovati „trenutnu“ promjenu Zemljinog polja ubrzanja sile teže, Zemljine rotacije i elastičnih deformacija čvrste Zemlje. Kao primjer pojavljuje se smanjenje razine mora unatoč povećanja vodene mase koja se seli na ekvator zbog smanjenog gravitacijskog privlačenja leda i oceana. Na sljedećoj slici prikazane su varijacije ledenih masa sa prelaska iz 20. u 21. stoljeće na polarnim područjima sa pripadnom standardnom devijacijom i njihov doprinos porastu srednje razine mora.



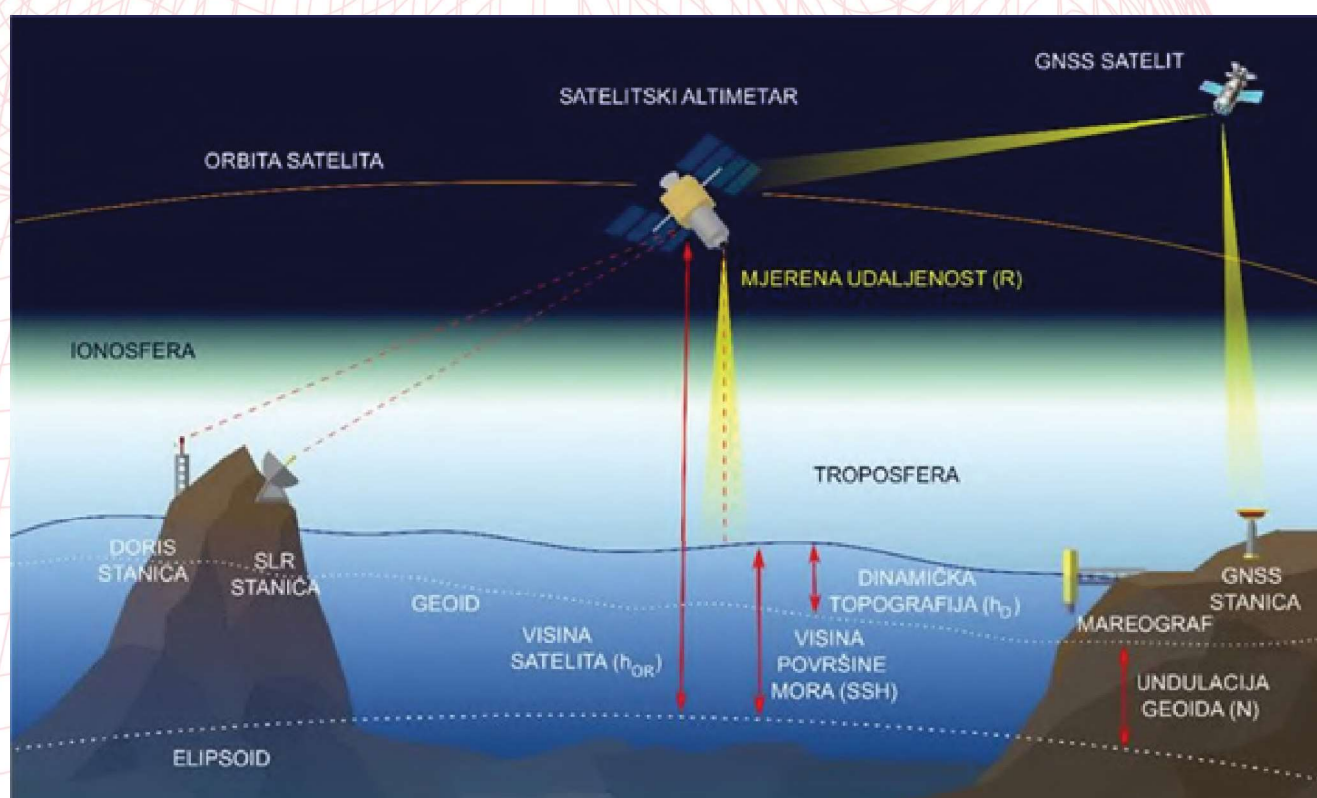
Predimo na polarna područja koja su se znatno drugačije razvijala zbog toga što je Arktik na sjeveru vodena površina okružena kopnom, a Antarktika je kontinent na jugu okružen oceanima. Njihov utjecaj je nemoguće zanemariti. Na Arktiku se od 1900. godine do danas prosječna temperatura zraka znatno povećala (za 3,5°C) u odnosu na ostatak svijeta. Za primjer možemo uzeti podatke Državnog

hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske koji navode porast prosječne temperature zraka na području Lijepe naše za između $0,2^{\circ}$ do $0,7^{\circ}\text{C}$ u istom periodu. Ova promjena utječe na smanjenje površine pod ledom i snijegom, a posljedično i smanjenje ljetnog albeda. Smanjenjem refleksivnosti, smanjuje se količina sunčevih zraka koje se odbijaju nazad u svemir te time i toplina koju te zrake nose sa sobom ostaje u donjim dijelovima atmosfere. Osim toga, taj porast ostavlja efekt i na povećanje vodene pare u atmosferi, što pridonosi naoblaci i još većem prijenosu topline u polarna područja i smanjenje topline u tropskim dijelovima Zemlje.

Ova područja se mijenjaju najbrže na svijetu uz globalne razmjere. Mjerenjima površinske temperature Arktika pokazalo se da je globalno zatopljenje započelo 1970-ih te su trendovi zatopljenja u porastu. Procijenjeno je da je između 1982. i 2017. temperatura vode u kolovozu u rastu za pola stupnja Celzijeva po desetljeću, što je uzrokovano povećanjem apsorpcije sunčevog zračenja, to jest, smanjenjem refleksivnosti. To smanjenje albeda urodilo je smanjenjem stvaranja leda u sjevernim Kanadskim i Euroazijskim područjima

do čak 25%. Antarktički ocean je stoga važan za prijenos topline iz atmosfere u globalne oceane, točnije, on upija oko 75% dodatne topline te ima veliku važnost u porastu sadržaja topline oceana.

Povijesno su se promjene razine mora dobivale na osnovi geoloških istraživanja, a od posebne važnosti su trenuci u prošlosti kada je temperatura bila bliska ili viša od trenutne. Početkom 18. stoljeća opažanja razine mora vršila su se na mareografima, kojih nije bilo puno, te nam stoga tako nam daju kratki povijesni trend na manjim područjima. Trenutno ih je preko 2000 po svijetu, pretežito na sjevernoj hemisferi. Mareografi su stoljećima prisutni, većina ih ima velike rupe u opažanjima i za njihova mjerenja nisu bili uzimani u obzir pomaci Zemljine kore (kako prirodno zbog tektonike, tako i umjetno putem ljudske aktivnosti). Potrebne korekcije moguće je uvesti ako su mareografi povezani sa GNSS (eng. Global Navigation Satellite System) stanicama. Ove korekcije daju nužne podatke samo za period do unazad 30-ak godina, tako da imaju važnost samo za novija mjerenja, dok su starija zakinjuta za iste.



Od 1992. napretkom u satelitskoj altimetriji uspješno je dobiven temeljitiji uvid u globalnu srednju razinu mora i njene promjene na lokalnoj razini, kao i praćenje topljenja leda. Trenutno se satelitskom altimetrijom procjenjuje ubrzanje rasta razine mora do 0,084 mm godišnje, što je posljedica sve većeg gubitka mase Greenlanda, kao i porasta stakleničkih plinova i erupcije vulkana Pinatuba na Filipinima 1991. godine. Trenutno se bilježi najveći rast razine mora od 3,6 +/- 0,3 mm godišnje uz 90%-tnu pouzdanost temeljem opažanja od 2006. do 2015. godine. Nadalje, moderne satelitske tehnike daju mogućnost rješavanja problema vezanih za spajanje lokalnih visinskih sustava u ujedinjene vertikalne sustave. Opažanja satelitske altimetrije su relativno kratka u usporedbi s opažanjima mareografa (satelitska altimetrija prisutna je 20-ak godina) te da bi ih mogli kvalitetno uspoređivati potrebni su dulji periodi opažanja. Ako ta opažanja kombiniramo sa gravimetrijom i GNSS kampanjama možemo dati podlogu za procjenu globalnog zatopljenja kroz oči rasta razine mora. Iako je velik naglasak na satelitske metode, i dalje su od velikog

značaja terenska mjerenja razine mora koja bi po mogućnosti bila kolocirana s permanentnim GNSS stanicama radi istovremenog opažanja pomaka Zemljine kore. Treba razmatrati izgradnju kompleksnijih sustava za praćenje rasprostiranja po Zemlji koji bi proširili mogućnosti istraživanja, ali i dali rješenja za brojne znanstvene probleme. Od 2002. visoko preciznim gravimetrijskim mjerenjima danih GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) i GRACE Follow-On misijama dobivaju se neovisne procjene koje potvrđuju gubitak u masi ledenjaka te se time potvrđuju teorije koje su dane satelitskom altimetrijom i InSAR (Interferometric synthetic-aperture radar) mjerenjima o gubitku masa.

Različiti uzroci koji doprinose rastu srednje globalne razine mora se opažaju neovisno o vremenu, a uspoređuju se iz simuliranih procjena danih klimatskim modelima čiji je početak razvoja uspostavljen sredinom 19. stoljeća. Cilj opažanja je razumijevanje uzroka iza određenih pojava koje dovode do dizanja razine mora, a zatim i obnavljanje modela koji će biti temelj daljnjih istraživanja.

| Izvor | 1901-1990 | 1970-2015 | 1993-2015 | 2006-2015 |
|---|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>Opažani doprinos rastu GMSL-a</i> | | | | |
| Termalna ekspanzija | | 0.89 (0.84-0.94) | 1.36 (0.96-1.76) | 1.40 (1.08-1.72) |
| Glečeri osim na Greenlandu i Antartici | 0.49 (0.34-0.64) | 0.46 (0.21-0.72) | 0.56 (0.34-0.78) | 0.61 (0.53-0.69) |
| Greenlandska ledena ploča sa periferalnim glečerima | 0.40 (0.23-0.57) | | 0.46 (0.21-0.71) | 0.77 (0.72-0.82) |
| Antartička ledena ploča sa periferalnim glečerima | | | 0.29 (0.11-0.47) | 0.43 (0.34-0.52) |
| Zalihe vode na kopnu | -0.12 | -0.07 | 0.09 | -0.21 (-0.36-0.06) |
| Masa oceana | | | | 2.23 (2.07-2.39) |
| Ukupan doprinos | | | 2.76 (2.21-3.31) | 3.00 (2.62-3.38) |
| Opažani rast GMSL iz mjerenja mareografa i altimetrije | 1.38 (0.81-1.95) | 2.06 (1.77-2.34) | 3.16 (2.79-3.53) | 3.58 (3.10-4.06) |
| <i>Modelirani doprinos rasta GMSL-a</i> | | | | |
| Termalna ekspanzija | 0.32 (0.04-0.60) | 0.97 (0.45-1.48) | 1.48 (0.86-2.11) | 1.52 (0.96-2.09) |
| Glečeri | 0.53 (0.38-0.68) | 0.73 (0.50-0.95) | 0.99 (0.60-1.38) | 1.10 (0.64-1.56) |
| Greenland | 0.02 (-0.05-0.02) | 0.03 (-0.01-0.07) | 0.08 (-0.01-0.16) | 0.12 (-0.02-0.26) |
| Zbroj zalihe vode na kopnu i topljenja leda | 0.71 (0.39-1.03) | 1.88 (1.31-2.45) | 3.13 (2.38-3.88) | 3.54 (2.79-4.29) |
| Ostatak u odnosu na opažani rast GMSL-a | 0.67 (0.02-1.32) | 0.18 (-0.46-0.82) | 0.03 (-0.81-0.87) | 0.04 (-0.85-0.93) |

U ovoj tablici vidljivi su promatrani uzroci promjene srednje globalne razine mora, iz koje je očito da nedostaju mjerenja iz 20. stoljeća za varijacije oceanskih masa i ledenog pokrova na Antarktici, čime su sveukupni utjecaji teško procjenjivi. Za kraj 20. stoljeća i početak 21., uz pomoć modernijih tehnologija, svi ti podaci su dostupni. U drugom dijelu tablice navedeni su modelirani utjecaji porasta iz dostupnih podataka za sve vremenske periode.

Nakon svih ovih navedenih podataka, zaključuju se pojave koje doprinose rastu razine mora i sažete informacije o istome, a to su:

1. Otapanje glečera i ledenih pokrivača na Greenlandu i Antarktici te zaliha vode na kopnu koje su u obliku snijega i leda na planinskim područjima i hladnijim regijama.
2. Toplinsko rastezanje tokom kojeg oceani i mora apsorbiraju višak toplinske energije, čiji je iznos varijabilan o lokaciji i dubini. Na osnovi podataka iz perioda 2006.-2015. godine taj doprinos iznosi oko 1,4 mm/god. te se pokazalo da je taj doprinos uvećan za 10% u proteklih 15 godina za dubine od 700 do 2000m. Ovo rastezanje se može definirati kao sterički efekt – povećanje volumena izazvano povećanjem temperature.
3. Razina mora varira lokalno, stoga se problemu treba pristupiti najprije lokalno.
4. Od rasta razine mora moguće se braniti gradnjom brana, što je pogodno za obalna i gusto naseljena područja, prilagođenom izgradnjom zgrada i infrastrukture ili razvojem trave i koralja na morskom dnu

*Važno je spomenuti i promjene mase ledenjaka. One se uglavnom dobivaju satelitskim metodama, kao što su satelitska altimetrija, koja mjeri promjenu volumena i mjerenje toka leda i satelitska gravimetrija za mjerenje regionalne promjene u masu. Za satelitsku altimetriju važno je spomenuti kako se ona dijeli na lasersku i radarsku. Laserska altimetrija mjeri do vrha snježnog omotača dok se radarska probija do leda ispod snijega.

Pokretače promjene mase ledenjaka možemo generalizirati na oceanske i atmosferske. Kod oceanskih pokretača primarno se radi o povećanju otapanja leda na samom dnu ledenjaka zbog kolanja relativno toplih cirkumpolarnih voda, a one su uzrokovane promjenama u vjetrovima na površini oceana. U slučaju atmosferskih pokretača, mora se uzeti u obzir utjecaj cirkulacije ekstrasropskog vjetera koji se pojačava i usmjerava prema polu za vrijeme ljeta.

Promjene masa glečera se procjenjuju iz satelitskih opažanja i direktnih mjerenja. Trenutno se odvija najveći gubitak njihove mase u proteklih 4000 godina. U periodu od 2006. do 2015. godine najveći gubitak u masi glečera se odvijao u blizini Greenlanda koji je iznosio oko -47 ± 16 Gt (gigatona) po godini, a prati ih sjeverni dio Kanade sa -39 ± 8 Gt po godišnje. Ukupni gubitak u masi glečera iznosi -213 ± 29 Gt godišnje, što rezultira povećanjem srednje razine mora od 0,59 mm godišnje.

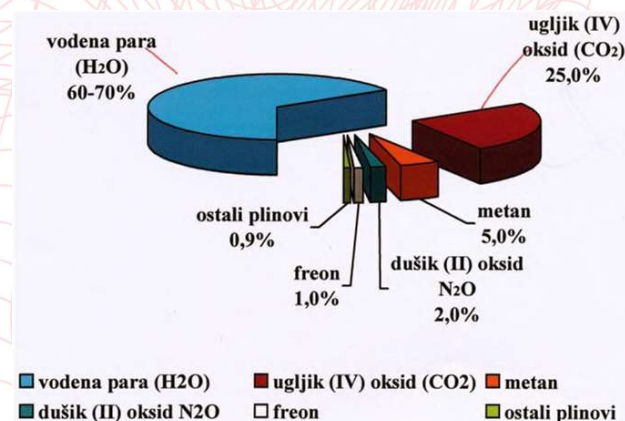
Iz navedenih podataka i istraživanja može se zaključiti:

1. Polarna područja gube svoje zalihe leda opasnim brzinama te se njihovim promjenama mijenja i ocean, a time i planet Zemlja skupa sa životinjskim i biljnim svijetom.
2. Temperatura zraka na Arktiku se dvostruko povećava u odnosu na globalni prosjek te se gubitkom leda i snijega situacija samo povećava.
3. Oba polarna oceana se zagrijavaju te Južni ocean nosi sve veću težinu u smislu promjene temperature na globalnoj razini
4. Klimatski inducirane promjene negativno utječu na količine leda, a time imaju i utjecaj na morske ekosustave
5. Volumen Arktičkog leda se smanjuje u svim mjesecima u godini, a ponajviše u rujnu (približno 12,8% +/- 2,3% po desetljeću), a približno pola tog pada se može pripisati znatno većim koncentracijama stakleničkih plinova u atmosferi. Promjene u Arktičkom ledenom moru mogu imati utjecaj na srednjim geografskim širinama u roku od par tjedana.
6. Vrlo je vjerojatno da će zatopljenja na Arktiku nastaviti ovakav trend gubitka leda i snijega te se predviđa da će se do 2100. godine dogoditi nestanak trajnog leda na Arktiku.

Kako svijet reagira

Znanstvenici okupljeni oko IPCC-a u kojem sjede i predstavnici vlada mnogih država svijeta uvjereni su da je glavni krivac za globalno zatopljenje u posljednjih 150 godina čovjekova aktivnost i izgaranje fosilnih goriva čime se u atmosferu ispuštaju velike količine CO₂. U medijima prevladava mišljenje koje zastupa IPCC te se na sav glas bruji o katastrofi koja nam prijeti ako pod hitno ne smanjimo ispuštanje ugljičnog dioksida u atmosferu. Na cijelu famu oko globalnoga zatopljenja potom se priključuju i razni drugi aktivisti za zaštitu prirode koji opet pokušavaju progurati neke svoje interese. To uzrokuje medijski kaos i omogućuje manipulaciju ljudima. Tako se na internetu mogu pronaći brojni portali koji pišu o globalnom zatopljenju i zagovaraju razvoj novih i čistih industrija te promjenu stava iz običnog potrošačkog društva u ekološki osviješteno i novim tehnologijama otvoreno kapitalističko-potrošačko društvo.

Zaključak IPCC-a kaže da je za porast temperature odgovoran efekt staklenika, tj. porast razine CO₂ čija se koncentracija u zadnjih 150 godina povećala za više od 1/3. Glavnim krivcem proglašen je čovjek koji je u atmosferu ispuštio tek jedan mali dio (oko 5%) od zabilježenog povećanja ugljičnog dioksida. No CO₂ nije glavni staklenički plin. Najvažniju ulogu ima vodena para H₂O(g) koja ima najveću sposobnost upija-



nja Zemljine kontraradijacije i ima daleko najveći udio među stakleničkim plinovima. Iako čovjek ne može utjecati na količinu vodene pare u atmosferi, djelomično može na CO₂. S ciljem zaustavljanja (ili barem usporavanja) porasta količine CO₂ u atmosferi razvila se ideja poreza i/ili kvota na CO₂ na temelju znanstvene podloge koju pruža IPCC. Iako učinkovit, takav način kontroliranja industrije u cilju zaštite okoliša je politički nekorektan i podložan malverzacijama te može imati dalekosežne posljedice na gospodarski razvoj nerazvijenijih zemalja te zbog toga i velike socio-geografske posljedice u vidu povećanja broja siromašnih u svijetu te posljedično socio-ekonomskih migracija. Takav razvoj situacije mogao bi dodatno produbiti jaz između razvijenih i nerazvijenih i osnažiti migracije prema visokorazvijenim zemljama.

S druge strane, velik broj znanstvenika klimatologa koji djeluju samostalno smatraju da je klimatsko zatopljenje kojemu smo svjedoci samo dio klimatskih varijacija kroz koje klima našega planeta prolazi na raznim vremenskim skalama te da čovječanstvo ne može odigrati ulogu spasitelja klime koju je samo sebi predodredilo iz dva jednostavna razloga: 1. glavni staklenički plin u Zemljinoj atmosferi je vodena para koja ima daleko najveći udio u efektu staklenika (prema nekim istraživačima čak i do 97%) i čovjek nema veliki utjecaj na razinu koncentracije tog plina i 2. u klimatskim promjenama veliku ulogu imaju Zemljina gibanja u svemiru (precesija, promjena ekscentriciteta Zemljine putanje te promjena nagiba Zemljine osi) te Sunčevi ciklusi koji uvjetuju povećanje ili smanjenje energije koju Sunce emitira u svemir. Dokaz toj teoriji su promjene klime u bližoj i daljoj prošlosti koje nikako nije mogao uvjetovati čovjek i nisu bile vezane uz promjenu razine CO₂ u atmosferi. Zemljina klima se definitivno mijenja, neovisno koji uzrok tome bio i klimatske promjene već pogađaju i pogađat

će milijune siromašnih diljem svijeta i povećati socijalni i demografski pritisak na razvijene zemlje. Stoga bi se čovječanstvo trebalo malo više usredotočiti na ublažavanje posljedica klimatskih promjena, a ne sprječavanje klimatskih promjena, pogotovo ne na brzu ruku, gospodarskim restrikcijama i obmanom javnosti u svrhu privatnih interesa.

Živimo u vremenu opravdano rastuće zabrinutosti za stanje i očuvanje prirode i okoliša, a istovremeno i u povijesnom trenutku, jer je u prosincu 2018. nakon Konferencije UN-a o klimatskim promjenama u Poljskoj, započeo globalni školski štrajk za klimu kojeg je inicirala švedska aktivistica i učenica Greta Thunberg, a organiziran je i podržan u Hrvatskoj.

“Jasno je da se klima mijenjala i mijenja se uslijed prirodnih okolnosti, no naglasak je na promjenama koje su posljedica ljudskih aktivnosti.”

Klimatske promjene sve su aktualnija tema jer ekstremne vremenske pojave poput velikih požara, poplava, erozija, oluja ili visokih vrućina pogađaju gotovo sve

dijelove Zemlje, pa tako i Hrvatsku, ostavljajući različite i vrlo ozbiljne posljedice na prirodu i ljude. Jasno je da se klima mijenjala i mijenja se uslijed prirodnih okolnosti, no naglasak je na promjenama koje su posljedica ljudskih aktivnosti. Na njega najznačajnije utječe ugljični dioksid koji se oslobađa sagorijevanjem ugljena, nafte, naftnih derivata i plina te uzrokuje značajno povećanje stakleničkih plinova u atmosferi. Oko 22 milijarde tona CO₂ ispusti se u atmosferu svakoga dana, a takav bi trend emisija mogao povećati prosječnu Zemljinu temperaturu za 1,4 – 6,4 °C do kraja ovog stoljeća. Pritom, povećanje temperature već iznad 2 °C dovelo bi do opasne promjene klime i razornog utjecaja na biljne i životinjske zajednice. Specijalni izvještaj Međuvladina panela o klimatskim promjenama (IPCC) o globalnom zatopljenju iz listopada 2018., pokazuje kako je ograničavanje globalnog zagrijavanja na 1,5 °C još uvijek moguće, no države bi hitno trebale na

pustiti korištenje fosilnih goriva te u idućih 10 do 20 godina uvesti korjenite promjene u svim sektorima, sa snažnim zaokretom prema obnovljivim izvorima energije i energetske učinkovitosti.

Klimatske promjene najviše su povezane s onečišćenjem zraka, a dobro stanje okoliša jedan je od uvjeta za zdrav život. Europska agencija za okoliš (EEA) ističe nekoliko onečišćivača zraka koji su komponente lebdećih čestica te istovremeno pojačavaju klimatske promjene, a to su ozon i crni ugljen, organski ugljik, amonijak, sulfati i nitrati, zbog čega se pitanja onečišćenja zraka i klimatskih promjena moraju rješavati istovremeno i zajedno. Svjetska zdravstvena organizacija od 1950. izvještava o kvaliteti zraka, a zadnjih godina posebno upozorava na povezanost onečišćenja zraka s preuranjenom smrću od srčanih i moždanih udara, plućnih bolesti i raka. Kratkoročna i dugoročna izloženost onečišćenju zraka kod djece i odraslih može dovesti do smanjenja funkcije pluća, respiratornih infekcija i astme te drugih zdravstvenih poteškoća, pri čemu su najopasnije lebdeće čestice, dušikov dioksid i prizemni ozon.

Uzročna posljedična veza klimatskih promjena i širokog spektra ljudskih prava ogleda se u njihovom utjecaju na cjelokupni život na Zemlji, od ekosustava do ljudi, a posebice utjecaju na ljudsko zdravlje i život. Značajan međunarodni iskorak za povezivanje okoliša, a time i klimatskih promjena s ljudskim pravima dogodio se 2012. kada je Vijeće za ljudska prava UN-a osnovalo mandat Posebnog izvjestitelja za ljudska prava i okoliš, koji tvrdi da sva ljudska prava ovise o okolišu u kojem živimo te da je siguran, čist, zdrav i održiv okoliš neizostavan za puno ostvarivanje prava na život, prava na zdravlje, hranu, vodu. Posebni izvjestitelj pohvaljuje države koje su u svojim nacionalnim zakonodavstvima osigurale pravo na zdrav okoliš

koje bi trebalo biti globalno, a propust da se osigura zdrav zrak predstavlja povredu prava na život, zdravlje i blagostanje. Države stoga hitno moraju poboljšati kvalitetu zraka i ispuniti svoje dužnosti u zaštiti ljudskih prava tako da smanje zagađenje zraka, poboljšaju zdravlje ekosustava i usmjere se na rješavanje problema povezanih s klimatskim promjenama.

U cilju ograničavanja porasta temperature te preuzimanja odgovornosti država da do toga ne dođe, dogovaraju se i ugovaraju međunarodni sporazumi. Tako je od 1994. na snazi Okvirna konvencija UN-a o promjeni klime (UNFCCC) u čijoj preambuli stranke potpisnice priznaju da su ljudske aktivnosti znatno povećale atmosferske koncentracije stakleničkih plinova, što će dodatno zagrijati Zemljinu površinu i atmosferu s lošim učinkom na prirodne ekosustave i čovječanstvo, zbog čega su odlučne zaštititi klimatski sustav za sadašnje i buduće generacije. Okvirna konven-

“Ta 17-ogodišnja srednjoškolka je šokirala svijet svojim protestom protiv odlaska u školu koji je uzrokovan požarima koji su harali Švedskom za vrijeme najtoplijeg ljeta u proteklih 26 godina.”

cija definira klimatske promjene kao negativne posljedice promjene klime sa značajnim pogubnim posljedicama na sastav, elastičnost ili produktivnost prirodnih ili vodenih ekosustava ili na funkcioniranje društveno-gospodarskih sustava te ljudsko zdravlje i blagostanje. U njoj se promjena klime izravno ili neizravno pripisuje ljudskim aktivnostima koje mijenjaju sastav globalne atmosfere, a promatra se kroz usporedbu vremenskih razdoblja. Osim Okvirne konvencije, od 2007. je na snazi i njen Kyoto protokol, od 2015. i Izmjena Kyotskog protokola iz Dohe te Pariški sporazum od 2017., koji obvezuje na smanjenja emisija stakleničkih plinova u različitim sektorima. Budući da su klimatske promjene sastavni dio područja zaštite okoliša, za zaštitu ljudskih prava važna je i Konvencija o pristupu informacijama, sudjelovanju javnosti u odlučivanju i pristupu pravosuđu u pitanjima okoliša, tzv. Arhuška konvencija koja je

dio pravne stečevine EU, a Hrvatska ju je ratificirala 2007.

Hrvatska se može ponositi činjenicom da se nalazi među zemljama koje jamče pravo na zdrav život, a o kojima piše i Posebni UN-ov izvjestitelj, jer Ustav RH određuje očuvanje prirode i čovjekova okoliša kao jednu od najviših vrednota i temeljem za njegovo tumačenje. Naš Ustav propisuje i dužnost države da osigura uvjete za zdrav okoliš, te dužnost svakoga da u sklopu svojih ovlasti i djelatnosti osobitu skrb posvećuje zaštiti zdravlja ljudi, prirode i ljudskog okoliša, a omogućuje i iznimno zakonsko ograničenje poduzetničke slobode i vlasničkih prava upravo radi zaštite tih vrijednosti te interesa i sigurnosti RH.

Lijepa naša nije jedina koja se može ponositi svojim trudom za očuvanje okoliša. Velik broj mladih ljudi diljem svijeta počeo je razmišljati o čišćoj i boljoj budućnosti, a posebno nakon što je Greta Thunberg došla na scenu. Ta 17-ogodišnja srednjoškolka je šokirala svijet svojim protestom protiv odlaska u školu koji je uzrokovan požarima koji su harali Švedskom za vrijeme najtoplijeg ljeta u proteklih 26 godina. Štrajkala je sve do sljedećih parlamentarnih izbora u Švedskoj 9. rujna 2018. Svoju akciju je nazvala „Školski štrajk za klimu“ te je zatražila od švedskih vlasti da poduzmu mjere smanjenja emisija ugljičnog dioksida u zemlji. Svoju akciju je prezentirala na društvenim



mrežama, što je potaknulo učenike diljem svijeta da od rujna 2018. petkom izostaju iz škole ili barem nose transparente sa zahtjevima za zaštitu okoliša. Akcija je poznata pod imenom „Petci za budućnost“. Ova ambiciozna djevojčica je uzrokovala i novu kulturalnu pojavu naziva „flygskam“, točnije, „sram od letenja“, kojim je utjecala na smanjenje korištenja avionskih letova pozivom na nemoralnost korištenja načina putovanja koji uzrokuje visoke emisije ugljičnog dioksida. U travnju 2019. održala je govor pred zastupnicima Europskog parlamenta, te u rujnu 2019. i pred Ujedinjenim narodima. Greta Thunberg je svojim postupcima privukla i pozitivne i negativne reakcije od strane javnosti, političara i značajnih svjetskih vođa. Vrijedi istaknuti komentar ruskog predsjednika Vladimira Putina, koji ju je istovremeno pohvalio za ustrajnost u promoviranju „zelene energije“ i kritizirao za nedovoljnu informiranost oko skupocjenosti iste navodeći problem standardna života u nerazvijenim zemljama, poput onih u Africi, koje si ne mogu priuštiti značajniji prijelaz na obnovljive izvore energije.



Zaključak

Topljenje ledenjaka je izvjesno. Oni nestaju ako zimi padne manje snijega koji pokriva led nego što ga se otopi tijekom ljeta. Uslijed porasta razine mora, mnogi će mali otoci u oceanima jednostavno nestati. Potopljene dijelove otoka imamo i danas. Za primjer, u rimsko doba razina mora je bila niža za oko 1 metar i porastom iste mnoge rimske građevine su potopljene (primjer na Brijunima, na otoku Krku...).

Do kraja 21. stoljeća se očekuje porast srednje temperature na Zemlji za od 1.4 do 5.8 stupnjeva. Smatra se da će zapadni dio Antarktika potpuno nestati do kraja stoljeća što bi moglo rezultirati povećanjem razine mora. Očekuje se više vrućih (veća vjerojatnost za suše) i manje ledenih dana, te intenzivniji oborinski događaji. Globalno zatopljenje će se najviše osjetiti u srednjim širinama i na polovima dok će manjih promjena biti u tropima.

Promjenom razine more uslijedit će posljedice u obliku oluja, poplava, narušenih ekosustava koji mogu negativno utjecati na civilizacije na obalnim i otočnim područjima. Dakle, problem rasta razine mora treba shvatiti maksimalno ozbiljno i potrebno je učiniti sve moguće da se ljudska vrsta prilagodi nadolazećim težim životnim uvjetima. Naravno, ljudi nisu slijepi na ove probleme te su počeli gle-

dati drugačije na vlastite postupke u industriji, ali i u društvenom životu tako da se utječe na stav i ponašanje ljudi da gledaju na održivi razvoj.

Uzevši sve ovo u obzir, globalno zatopljenje i klimatske promjene su realne činjenice koje prijete našem postojanju i od čega ljudska vrsta ima opravdan strah. Ipak, cijelu ovu situaciju sagledavamo iz krivih kutova, točnije, opterećujemo se s previše loših djela koja si preuveličavamo jer, kao što je već navedeno, naš utjecaj je puno manji nego što ga smatramo. Zato se potrudimo da recikliramo, čistimo oceane od velikih otoka otpada, pazimo šume, smanjimo s pesticidima, čuvajmo životinjske vrste i njihova staništa. Sva-ko dobro djelo prema prirodi, ma koliko god ono malo bilo, kao što je šetnja ili bicikliranje na manjim udaljenostima, razvrstavanje otpada, oprezno obitavanje u šumama i ostalim područjima koja su osjetljiva na požare, pridonosi zdravlju sviju nas, i staništa i živih bića. Zato je potrebno ujediniti snage i prilagoditi se novim vremenima pametno, savjesno i spremno. To bi nama geodetima moglo uzrokovati teže probijanje kroz silne drače, makije i šikare kako bi došli do željenih točaka i stajališta, ali to je teret koji ćemo rado nositi :D.



Literatura

The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

Međuvladin panel o promjeni klime, Četvrto izvješće o procjeni, Promjena klime 2007.: Zbirno izvješće

L. Pashova, I. Yovev, 2010: Geodetic studies of the influence of climate change on the Black Sea level trend

B. Pribičević, 2005: Pomorska geodezija

Klimatske promjene, Priopćenje za javnost povodom Festivala znanosti u Splitu

Mrežne adrese:

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming>

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/CryoSat/

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Living_Planet_Symposium/

<https://povijest.net/malo-ledeno-doba/>

AUTORI/AUTHORS

Hrvoje Maslač

univ. bacc. ing. geod. et geoinf., diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: hmaslac@geof.hr

Dominik Miletić

univ. bacc. ing. geod. et geoinf., diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: dmiletic@geof.hr

Luka Crnčec

univ. bacc. ing. geod. et geoinf., diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: lcrncec@geof.hr