



M. Kovačić*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku
kemijsku tehnologiju procesa, Savska cesta 16
10 000 Zagreb

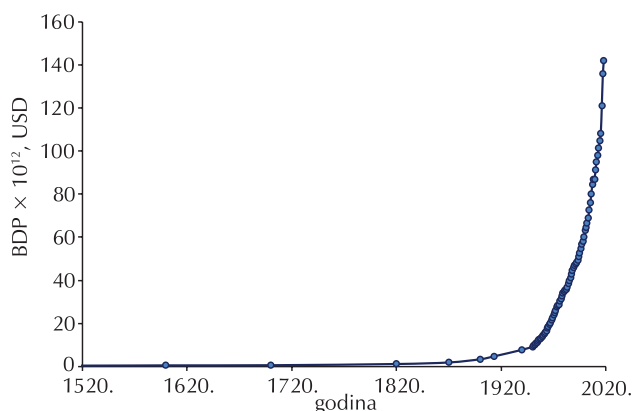
Mora li čovječanstvo zaboraviti vatru?

Geolozi utjecaj prirodnih ciklusa i promjena kroz Zemljinu povijest prepoznaju i klasificiraju kao karakteristične epohe. Epohe su trajale više milijuna godina, a trenutačna epoha prema aktualnom konsenzusu, holocen, započela je prije nešto manje od 12 000 godina. Međutim, čovjekovo djelovanje moglo bi rezultirati nezabilježeno kratkim okončanjem jedne epohe ukoliko se u znanstvenim krugovima usvoji prijedlog nove epohe – antropocena.¹ Ključna premisa antropocena je da se moderno čovječanstvo izjednačilo po magnitudi svojih učinaka na litosferu, biogeokemijske cikluse sa „silama prirode“. Početak antropocena može se i vezati uz specifičan datum, 16. srpnja 1945., kada je u pustinji Novog Meksika detonirana prva atomska bomba, kodnog imena „Gadget“. Spomenuti datum jedinstven je zbog oslobađanja radionuklida plutonija i neptunija u atmosferu, elemenata do tad prisutnih u zanemarivim koncentracijama u prirodi. U naredna dva desetljeća, daljnjih 519 atmosferskih detonacija nuklearnog oružja doprinijelo je onečišćenju okoliša navedenim radionuklidima u svjetskim razmjerima. Time je čovjek neminovno ostavio karakteristične radioaktivne markere u okolišu, koji će se moći identificirati i u budućim epohama.^{2,3}



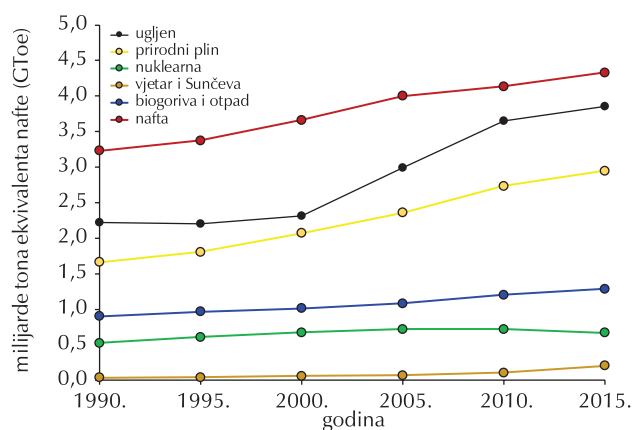
Slika 1 – Moderno čovječanstvo je zasebna „geološka sila“, usporedba erupcije vulkana Saričev 2009. na Kurilskim otocima (lijevo) i termonuklearnog testa „Castle Bravo“ 1954. (desno)
(izvor: Wikipedia.org)

Bez obzira na konsenzus po pitanju antropocena, odnosno je li holocenu došao i formalno kraj, učinak čovjeka na prirodnu ravnotežu je neupitan. Ljudsko djelovanje dovelo je do iznimno dramatičnih, karakterističnih i dalekosežnih promjena u prirodi. Premda je čovjek od postanka najranijih civilizacija pokušao podčiniti prirodu sebi, ti učinci su bili zanemarivi sve do početka industrijske ere. Kao jednu od neizravnih mjera čovječanstva na prirodu možemo uzeti u obzir bruto društveni proizvod (BDP). Globalna ekonomija je nakon dovršetka Drugog svjetskog rata doživjela vrtoglav porast, slika 2. Kumulativan procijenjeni BDP generiran u razdoblju od jednog tisućljeća, od 1. do 1000. godine po. Kr., manji je od 5 % ukupne vrijednosti BDP-a u 2017. godini, dok je u razdoblju od 1980. do 2017. godine čovječanstvo generiralo gotovo 60 % povijesno kumulativnog BDP-a.



Slika 2 – Kumulativan globalni BDP u proteklih pet stoljeća
(izvori: <https://ourworldindata.org/economic-growth>, <https://www.statista.com/statistics/268750/global-gross-domestic-product-gdp/>)

Rast bruto društvenog proizvoda, odnosno stvaranje nove vrijednosti, termodinamički je neraskidivo vezano uz uporabu primarne energije. Prema podatcima Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency*, IEA), slika 3, ukupna globalna potrošnja primarne energije iznosi više od 14 milijardi tona ekvivalenta nafte, u čemu uvjerljivo prednjače fosilni izvori.



Slika 3 – Udio pojedinačnih izvora primarne energije u svijetu
(izvor: IAE.org)

Za uspješnu stabilizaciju globalne emisije CO₂, uz pretpostavku nastavka gotovo linearnog rasta globalnog BDP-a, potrebno je svakodnevno generirati dodatnih 1 GW energije iz obnovljivih ili nuklearnih izvora. Usporedbe radi, radi se o ekvivalentu kapaciteta gotovo pet termoelektrana Plomin HEP-a. Prema radu Garrett i sur.⁴ potrebno je oko 5,9 GW/10¹² USD BDP-a, pri čemu

* Doc. dr. sc. Marin Kovačić
e-pošta: mkovacic@kit.hr

uz gotovo konstantan porast globalne potrošnje primarne energije od 2,1 % te marginalan rast zadovoljavanja primarnih potreba iz nuklearnih ili obnovljivih izvora ukazuje na iznimno zabrinjavajuće stanje. Međutim, čak i kad bi čovječanstvo naprasno ograničilo emisiju CO₂, inercija prirodnih geokemijskih procesa rezultirala bi daljnjim porastom koncentracije CO₂, o čemu je bilo riječi u lanjskom izdanju Kemije u industriji.⁵ Negativne učinke svojeg djelovanja čovječanstvo je prepoznalo u okviru međunarodnih sporazuma, odnosno Okvirne konvencije UN o promjeni klime iz 1993. (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC), Protokola iz Kyota 1997. te Pariškog sporazuma o klimatskim promjenama iz 2015. Jedan od ciljeva Pariškog sporazuma, ograničenje porasta prosječne globalne temperature do 1,5 °C do kraja stoljeća, već je pod velikom upitnikom. Steffen i sur.⁶ istražili su utjecaj pozitivne povratne veze geokemijskih i antropogenih utjecaja na postizanje tzv. prijelazne točke, odnosno nezaustavljivog globalnog zagrijavanja, slika 4. Dogovorna granica od 2 °C u okviru Pariškog sporazuma, smatra se upravo tom prekretnicom. Trenutačni položaj, oko 1 °C iznad preindustrijske razine, približava se gornjoj ovojnici međuglacialnih uvjeta otprije 1,2 milijuna godina. Zabrinjavajuća brzina klimatoloških promjena tijekom proteklih pola stoljeća, zajedno s tehnološkom ograničenjima i socioekonomskom inercijom, stavljaju klimu na putanju izvan okvira prošlih interglacialnih uvjeta. Autori pretpostavljaju kako će antropogeni porast temperature dovesti do nezaustavljive kaskade. Taljenje polarnih ledenih pokrova moglo bi značajno doprinijeti porastu temperature uslijed većeg albeda Zemljine površine i posljedično veće apsorpcije infracrvenog zračenja te daljnjeg zagrijavanja.⁵ Nadalje, globalno zatopljenje će intenzivirati makroklimatske fenomene poput El Niña, koji reducira kapacitet apsorpcije CO₂ u istočnom Pacifiku.⁷



Slika 4 – Shematski prikaz mogućih budućih klimatskih ishoda (adaptirano iz ref.⁶)

Nažalost, nije riječ o događajima koji će se tek dogoditi u daljnjoj budućnosti, već je izgledno da je čovječanstvo već do sada aktiviralo gotovo 9 od 15 mehanizama nezaustavljivog globalnog zatopljenja. Radi se o smanjenju polarnih ledenih pokrova, deforestaciji Amazonije, usporavanju prirodne cirkulacije Atlantskog oceana, propadanja borealnih šuma, odumiranja koraljnih grebena, taljenje ledenog pokrova Grenlanda, permafrosta i ledenih pokrova u zapadnoj i istočnoj Antarktici. Rezultati istraživanja tijekom posljednjih par desetljeća ukazuju na to kako ledeni pokrov u Amundsenovom moru u zapadnoj Antarktici nezaustavljivo nestaje, prijeteci mogućim kolapsom ledenog pokrova zapadnog dijela kontinenta, što nije nezabilježeno u Zemljinoj povijesti. Smatra se kako je Grenlandski ledeni pokrov pred kolapsom, odnosno kako će nastupiti ireverzibilan gubitak ukoliko porast temperature dosegne 1,5 °C, što se prema

sadašnjem trendu predviđa već do 2030. Taljenjem permafrosta očekuje se oslobađanje iznimno velikih količina metana, trideset puta potentnijeg stakleničkog plina od CO₂. Međutim, više temperature pogoduju i šumskim požarima, oslobađajući pritom još veće količine CO₂. Da je to zaista tako, svjedoci smo učestalim izvještajima o sibirskim šumskim požarima tijekom ljetnih mjeseci.⁸ Ako je Zemlja prešla granicu stabilizacije, može se očekivati porast prosječne temperature za 4 do 5 °C te porast razine mora od 10 do 60 m, što bi imalo nesagledive posljedice na stabilnost globalne proizvodnje hrane i dostupnosti pitke vode. U takvom scenariju moguć je i nestanak tzv. zapadne civilizacije.⁹ Međutim, brzina manifestiranja tih učinaka uvelike ovisi o porastu temperature, a za potpuni učinak potrebno je od tisuću do nekoliko desetaka tisuća godina. Promjena porasta temperature od svega 0,5 °C može deseterostruko ubrzati ili usporiti porast razine mora. Trenutačno čovječanstvo ima mogućnost, ako već ne spriječiti negativne klimatološke učinke na život na Zemlji, barem ih usporiti. Smanjenje koncentracije CO₂ sa sadašnjih gotovo 410 ppm, najviše koncentracije u posljednjih 800 000 godina, na 350 ppm zahtijevalo bi smanjenje svjetskog BDP-a za gotovo dvije trećine, na razinu iz 1960. godine.^{4,10}

Trenutačno je čovječanstvo na dobrom putu premašiti atmosfersku koncentraciju CO₂ od 650 ppm već do 2040., daleko više od zadane granice od 450 ppm do kraja stoljeća.^{4,11} Trenutačna globalna kriza uzrokovana COVID-om moguća je naznaka budućih zbivanja, ako će čovječanstvo posegnuti za vatrogasnim mjerama kontrole porasta emisije stakleničkih plinova.

Literatura

1. W. Steffen, J. Grinevald, P. Crutzen, J. McNeill, The Anthropocene: conceptual and historical perspectives, *Phil. Trans. R. Soc. A* **369** (2011) 842–867, doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327>.
2. J. M. Kelley, L. A. Bond, T. M. Beasley, Global distribution of Pu isotopes and ²³⁷Np, *Sci. Total Environ.* **237-238** (1999) 483–500, doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00160-6).
3. URL: <https://news.berkeley.edu/2015/01/16/was-first-nuclear-test-dawn-of-new-human-dominated-epoch-the-anthropocene/> (10. 9. 2020.).
4. T. J. Garrett, M. Grasselli, S. Keen, Past world economic production constrains current energy demands: Persistent scaling with implications for economic growth and climate change mitigation, *PLoS One* **15** (2020) e0237672, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237672>.
5. N. Bolf, Regulacija globalnog zagrijavanja, *Kem. Ind.* **68** (2019) 658–659.
6. W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, S. J. Lade, M. Scheffer, R. Winkelmann, H. J. Schellnhuber, Trajectories of the Earth System in the Anthropocene, *PNAS* **115** (2018) 8252–8259, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>.
7. URL: https://eosps.nasa.gov/sites/default/files/publications/OceanColor_508.pdf (11. 9. 2020.).
8. T. M. Lenton, J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen, H. J. Schellnhuber, Climate tipping points – too risky to bet against, *Nature* **575** (2019) 595, doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>.
9. URL: <https://www.resilience.org/stories/2020-06-08/collapse-of-civilisation-is-the-most-likely-outcome-top-climate-scientists/> (12. 9. 2020.).
10. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide#:~:text=The%20global%20average%20atmospheric%20carbon,least%20the%20past%20800%20C000%20years> (12. 9. 2020.).
11. URL: <https://www.reuters.com/article/energy-climate-exchange-kemp/column-climate-change-targets-are-slipping-out-of-reach-kemp-idUSL5N21Y4A0> (12. 9. 2020.).