

# UTJECAJ ERUPCIJA VULKANA NA KLIMU

prof. emeritus Ognjen Bonacci

## UVOD

Poznata je činjenica da velike vulkanske erupcije izbacuju u stratosferu sumporne plinove koji konvertiraju u sumporne aerosole te se tamo zadržavaju od nekoliko mjeseci do oko dvije godine. Radijacijski učinak tih oblaka aerosola uzrokuje globalno zahlađivanje te kao takav predstavlja važan prirodni uzrok klimatskih varijacija. Erupcije vulkana stoga uzrokuju hladnija ljeta i toplije zime na kontinentalnom dijelu sjeverne hemisfere te slabljenje ljetnih azijskih i afričkih monsunu. Znanost ipak nije u cijelosti objasnila uzročno posljedične veze između vulkana i promjena klime. Robock (2013.) u svom radu postavlja sljedeća pitanja te na njih nastoji dati odgovore: 1.) Je li erupcija supervulkana Toba prije oko 74.000 godina, najvećeg u posljednjih 100.000 godina, odgovorna za značajno smanjenje populacije ljudi i za pojavu ledenog doba koje je trajalo oko tisuću godina?; 2.) Koju ulogu imaju male vulkanske erupcije na ublažavanje globalnog zagrijavanja u posljednjem desetljeću?; 3.) Što je uzrokovalo malo ledeno doba?; 4.) Je li erupcija vulkana Eyjafjallajökull na Islandu u travnju 2010. utjecala na klimatske promjene?; 5.) Što nas uče vulkanske erupcije vezano s novim geoinženjerskim mjerama i idejama?

Namjera pisanja ovog rada je da se koristeći brojnu najnoviju literaturu na jednostavan i razumljiv način tehničkim stručnjacima, koji se ne bave klimatologijom, ali i široj zainteresiranoj javnosti približi ovu zanimljivu i danas vrlo aktualnu problematiku.

## VULKANI I KLIMA

Vulkanske se aktivnosti mogu smatrati vrlo važnim čimbenikom (ako ne i najvažnijim) koji uzrokuju pojave hladnih klimatskih razdoblja tijekom Holocena. Issar (2003.) smatra da vulkanske aktivnosti pokreću lanac događaja koji imaju značajan utjecaj na klimu. One uzrokuju kratkotrajna zahlađenja, a potom uzrokuju

pojavu sustava visokog pritiska iznad pustinja Gobi i Sahare, što za posljedicu ima snažne pustinjske oluje i pojavu tzv. „crvenih kiša“. Ove su kiše bogate oksidima željeza i fosfatima te djeluju kao gnojivo u bio-okolišu oceana. Time uzrokuju cvjetanje fito- i zoo-planktona koji dugotrajno apsorbiraju ugljik dioksid, CO<sub>2</sub>. Taj proces traje dok se ne uspostavi nova ravnoteža. Tijekom razdoblja slabijih vulkanskih aktivnosti CO<sub>2</sub> se polagano vraća u atmosferu te dolazi do ponovnog zagrijavanja Zemlje.

Jihong Cole-Dai (2010.) napominje da je između prirodnih sila koje utječu na kratkotrajne varijacije klime utjecaj vulkanskih erupcija najbolje znanstveno shvaćen i objašnjen, ali da ipak nije dovoljno detaljno izučen. Prvenstveni utjecaj na klimu izražen je u reduciranju količine solarne energije koja stiže do površine Zemlje kao posljedica raspršivanja ulazne kratkovalne solarne radijacije o čestice sumpornih aerosola izbačenih u stratosferu prilikom erupcija vulkana. Poznato je da je posljedica tog prirodnog procesa hlađenje dijelova planete u ovisnosti o veličini erupcije. Kvantitativne učinke vulkanskih erupcija moguće je odrediti primjenom klimatskih modela zasnovanih na bilanci energije. Za ispunjavanje tog zadatka potrebni su visoko kvalitetni paleoklimatski i paleovulkanski podatci (Jihong Cole-Dai, 2010.). U tom je smislu posljednjih desetljeća postignut značajan napredak u naporima za razumijevanje utjecaja vulkanskih aktivnosti na promjene klime. To je postignuto kao posljedica bitnog intenziviranja broja paleovulkanskih istraživanja ledene kore uskladištene na polovima. Primjenom novih tehnologija omogućeno je precizno datiranje uzoraka, čime je ostvarena mogućnost njihovog potencijalnog povezivanja s klimom u tom vremenu kao i s pojavom vulkanskih erupcija i njihovih utjecaja na varijacije klime. Jihong Cole-Dai (2010.) smatra da ova istraživanja pružaju mogućnost poboljšanja objašnjavanja dugotrajnih međudnosa između erupcija vulkana (pri tome se posebno misli na tzv. erupcije supervulkana) i varijacija klime, mnogo

dužih od samo nekoliko godina, kako je to danas moguće. Posebno je važno istaknuti da će ta istraživanja omogućiti razumijevanje utjecaja vulkanskih erupcija u sadašnjem razdoblju vremena karakteriziranom snažnim utjecajem antropogene emisije stakleničkih plinova. Naime, smatra se (iako o tome ne postoji znanstveni konsenzus) da je zbog spomenute emisije stakleničkih plinova utjecaj vulkanskih erupcija na promjenu klime donekle ograničen. Osim toga, bit će moguće bolje shvatiti utjecaj vulkanskih perturbacija na mehanizme povratnih reakcija („feedback“) klimatskog sustava. Za ispunjavanje tih ciljeva neophodno je intenzivirati istraživanja u cilju procjene kako pozitivnih tako i negativnih kratkoročnih, ali još više dugoročnih, posljedica geoinženjerske mjere koja predviđa injektiranje sumpornog dioksida u stratosferu s ciljem smanjenja procesa globalnog zagrijavanja.

Velike vulkanske erupcije predstavljaju značajan pokretački čimbenik prirodnih varijacija klime (Timmreck, 2012.). Zbog toga je razumijevanje uloge vulkana u formiranju klime u prošlosti od neprocjenjivog značaja, posebno kad se u razmatranje uzmu ostali prirodni faktori. Razumijevanje klime u prošlosti i utjecaja vulkana na njeno variranje bitno je za shvaćanje promjena klime u budućnosti. Timmreck (2012.) smatra da su novi globalni klimatski modeli bitno pomogli u objašnjavanju utjecaja vulkana na varijacije klime na Zemlji. Novi pristupi u modeliranju globalne klime razvijeni u posljednjih desetak godina uzeli su u obzir ne samo utjecaj vulkanskih erupcija na sastav atmosfere, već i na dinamičke procese u oceanima te na hidrološki ciklus i ciklus ugljika na morske i terestrijalne biogeokemijske procese. Posebno je značajna činjenica da su spomenuti modeli poboljšali razumijevanje utjecaja vulkana na vremenskoj skali od deset i više godina. Prijašnji su modeli smatrali da vulkani utječu na klimu samo u kratkom vremenskom razdoblju od nekoliko godina. Rezultati simulacije razvoja vremena u novim klimatskim modelima jako zavise ne samo o kvaliteti modela i raspoloživih vulkanoloških ulaznih parametara, već i od tretiranja distribucije veličine aerosola u kemijskim i radijacijskim proračunima. Timmreck (2012.) naglašava potrebu daljnjeg i dubljeg izučavanja i razumijevanja odnosa između početnih klimatskih prilika u trenutku erupcije i utjecaja vulkana na promjenu klime. Posebno važan problem za točno modeliranje klime predstavlja pouzdana simulacija zimskog klimatskog odgovora na području sjeverne hemisfere koji se javljaju kao posljedica velikih tropskih vulkanskih erupcija. Proučavanje rezultata promjene klime dobivenih različitim postojećim modelima, a osobito usporedba simuliranih i opaženih vrijednosti promjena klime izazvanih velikim vulkanskim erupcijama bitno su pomogli razumijevanju promjena klime izazvanih erupcijama. Za očekivati je da će u budućnosti taj zadatak biti još bolje ispunjen.

Solomon i sur. (2010.) tvrde da je poslije 2000. godine koncentracija vodene pare u stratosferi smanjena za oko

10 %. Oni svojim analizama dokazuju da je zbog toga smanjena brzina trenda porasta površinske temperature u razdoblju 2000.–2009. za oko 25 % u odnosu na porast koji bi se očekivao od povišenja koncentracije ugljičnog dioksida i ostalih stakleničkih plinova u atmosferi. Osim toga, oni navode da je u razdoblju 1980.–2000. vlaga u stratosferi bila porasla. Solomon i sur. (2010.) su proračunali da se, kao posljedica toga, za oko 30 % povećalo globalno zagrijavanje u spomenutom razdoblju. Bitno je naglasiti da spomenuti autori smatraju da je uloga vodene pare u stratosferi značajan čimbenik koji utječe na promjenu klime na površini Zemlje. Uzrok smanjenja intenziteta globalnog zagrijavanja u posljednjoj dekadi povezuju s brojnim erupcijama malih vulkana koji su u donji sloj stratosfere ubacili sulfatne aerosole, zbog čega je došlo do povećanja zagađenja troposfere, prevladavanja La Niña, smanjivanja solarne radijacije i reduciranja količine vodene pare u stratosferi. Najveće erupcije u tom su razdoblju bile: 1.) Soufrière Hills, otok Montserrat u Karibima (20. svibnja 2006.); 2.) Kasatochi, Aleutski otoci u području Aljaske (8. kolovoza 2008.); 3.) Saričev, Kurilsko otočje u Rusiji (12. lipnja 2009.).

## UZROCI POJAVE MALOG LEDENOG DOBA (MLD)

Malo ledeno doba – MLD („little ice age“) predstavlja razdoblje koje je nastupilo poslije toplog razdoblja tijekom srednjeg vijeka („mediaeval warm period“ ili „medieval climate optimum“). U biti se ne radi o stvarnom ledenom dobu, već o nizu hladnijih podrazdoblja koja su se javljala u razdoblju od 1350. do 1850. godine. U literaturi je moguće naići na različita vremenska podrazdoblja trajanja i pojave MLD-a ovisno o tome koji su znanstvenici (klimatolozi, povjesničari, arheolozi itd.) i na kojim lokacijama obrađivali problematiku. NASA je definirala razdoblje MLD-a od 1550. do 1850. s posebnim naglaskom na tri izrazito hladne godine oko 1650., 1770. i 1850. Između njih su se javljala toplija međurazdoblja.

Najnovija istraživanja koja su objavili Miller i sur. (2012.) koristeći klimatski model su pokazala da je niz snažnih vulkanskih erupcija u drugoj polovici trinaestog stoljeća (između 1275. i 1300.) uzrokovalo naglo globalno zahlađenje te stvaranje debelog sloja leda na području Arktika. Proces zahlađenja intenziviran je u razdoblju 1430.–1455. Spomenuti intervali naglog porasta leda koincidiraju s vulkanskim aktivnostima. Korišteni klimatski model pokazao je da su trajanja i pojave hladnih ljeta u spomenutim podrazdobljima uzrokovani i podržani povratnim vezama između oceanskog leda i oceana dugo nakon nestanka vulkanskih aerosola iz stratosfere. Proračuni Millera i sur. (2012.) pokazuju da se posljedice snažnih erupcija vulkana na klimu mogu odraziti i tijekom narednih pedesetak godina, a da je tome osnovni razlog spomenuta interakcija leda na

površini oceana. Miller i sur. (2012.) su pokazali da su promjene solarne radijacije mogle utjecati na klimatske varijacije tijekom MLD-a, ali da taj čimbenik nije bezuvjetno inicirao MLD.

## ERUPCIJA SUPERVULKANA TOBA

Pod pojam supervulkana svrstavaju se vrlo rijetke kolosalne erupcije vulkana praćene golemim užarenim uraganima vrućih plinova, pepela i stijena koji mogu zahvatiti područje od tisuća kvadratnih kilometara i pritom uništiti sve oblike života na svom razornom putu. Štoviše, takve erupcije utječu na planetarne klimatske, biološke i ostale procese, uzrokuju globalne ekološke katastrofe i mijenjaju (usporavaju ili sprječavaju) razvoj civilizacije. Njihov utjecaj na okoliš je tako velik da se ne može usporediti niti sa jednom do sada poznatom planetarnom katastrofom kao što je tsunami, potres, poplava, suša itd. Kao primjer najbolje izučenog supervulkana nastavno će biti opisana erupcija vulkana Toba na otoku Sumatri u današnjoj Indoneziji.

Procijenjeno je da se erupcija supervulkana Toba zbila u razdoblju pred  $73.000 \pm 4.000$  godina. Radi se o zadnjoj od tri erupcije istog vulkana tijekom posljednjih milijun godina. Na VEI (*eng.* Volcanic Explosivity Index) ljestvici ta je erupcija opisana kao mega kolosalna i rangirana kao  $\geq M8$ . Procijenjeno je da je tijekom erupcije u stratosferu izbačeno između  $2.000 \text{ km}^3$  i  $3.000 \text{ km}^3$  materijala. U literaturi se najčešće spominje brojka od  $2800 \text{ km}^3$  što iznosi oko  $7 \times 10^{12}$  tona eruptirane magme. Neki autori smatraju da navedene brojke ne predstavljaju stvarno stanje stvari te da se radi o značajno većim količinama eruptiranog materijala. Više od  $800 \text{ km}^3$  materijala bilo je izbačeno u obliku pepela.

Usporedbe radi, navodi se da je prije spomenuta masa 100 puta veća od one koja je izbačena tijekom najveće erupcije vulkana u novijoj povijesti, koja se zbila 1815. kad je eruptirao vulkan Tombora u Indoneziji. Njegova je erupcija uzrok da je 1816. godina bila godina bez ljeta na sjevernoj hemisferi. Pepeo iz ove erupcije deponiran je u sloju debljine od oko 15 cm na cijelom području južne Azije. Dio pepela pao je na površinu Indijskog oceana, Arapskog mora i Južnog kineskog mora.

Na mjestu erupcije na otoku Sumatri danas postoji jezero Toba. Smatra se da ta erupcija predstavlja jednu od najsnažnijih poznatih erupcija vulkana na Zemlji. Određene analize dovele su do stvaranja hipoteze da je ta erupcija uzrokovala naglo i snažno globalno zahlađenje nazvano „vulkanska zima“ u trajanju od 6 do 10 godina te čak tisućugodišnje hladnije klimatsko razdoblje na planeti. Ovu posljednju hipotezu znanstvenim argumentima dovode u pitanje Haslam i Petraglia (2010.). Oni tvrde da je tisućugodišnje hladno razdoblje nastupilo nešto prije erupcije vulkana Toba. Timmreck i sur. (2010.) prihvaćajući ideje Pintoa i sur. (1989.) tvrde

da zbog procesa srastanja aerosola dolazi do njihovog kraćeg boravka u stratosferi, a time i kraćeg utjecaja na globalno hlađenje Zemlje.

S druge strane, Savino i Jones (2007.) tvrde da je ta erupcija bitno utjecala na povijest razvoja ljudskog roda. Pretpostavljaju da je kao izravna posljedica erupcije vulkana Toba, koja je uzrokovala naglu promjenu klime, a time i nepovoljnih uvjeta razvoja ekosustava, došlo do značajnog smanjivanja broja ljudi na planeti. Prema toj genetskoj teoriji brojnost ljudske populacije na planeti naglo je smanjena na, pretpostavlja se, između 3.000 do 10.000 preživjelih osoba. Genetska teorija pretpostavlja da se današnje čovječanstvo razvilo od te vrlo male populacije koja je preživjela erupciju vulkana Tobe prije oko 70.000 godina.

Zagovornici te genetske teorije sugeriraju da je erupcija vulkana Toba uzrokovala planetarnu ekološku katastrofu, uključujući destrukciju vegetacijskog pokrova, veliku sušu u području pojasa kišnih šuma i u područjima monsuna. Dugogodišnja „vulkanska zima“ utjecala je na značajno smanjivanje resursa hrane izazvavši glad i redukciju populacije ljudi na planeti koja ionako nije bila brojna.

S druge strane treba naglasiti da se svi znanstvenici ne slažu s ovom teorijom. To potkrjepljuju arheološkim nalazima u Indiji. Tamo je pronađeno isto kameno oruđe ispod i iznad sloja pepela izbačenog iz vulkana Toba. Na osnovu toga arheolozi su zaključili da njegova erupcija nije s tog prostora uništila ili otjerala postojeće stanovnike. Na temelju ostalih arheoloških nalaza, ista skupina znanstvenika smatra da su brojni životni oblici preživjeli supervulkan Tobu. Oni zaključuju da ma koliko analize polena sugeriraju pojavu deforestacije u području južne Azije izazvanu erupcijom vulkana Toba, čini se da su ljudi pronašli nove strategije adaptacije na bitno nepovoljnije uvjete koje su im omogućile preživljavanje.

Robock i sur. (2009.) su koristili dva nova modela za procjenu koliko bi erupcija vulkana Toba danas utjecala na klimu na Zemlji. U prvom je modelu uključena uloga redukcije vegetacije na klimatske procese, dok je u drugom računat efekt erupcije na procese vodne pare u stratosferi, kao i utjecaj produženog trajanja stratosferskih oblaka aerosola na klimu na Zemlji. Prvim modelom izračunato je da bi se temperatura zraka na površini Zemlje smanjila za oko  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , dok drugi model daje rezultat koji se kreće između  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ . Robock i sur. (2009.) zaključuju da bi, kad bi se danas pojavila erupcija slična onoj supervulkana Tobe, posljedice bile globalna devastacija planetarnog ekosustava. Osim toga, smatraju da bi došlo do značajnog smanjenja broja stanovnika na planeti kao neposredne posljedice erupcije, a potom i zbog razaranja postojećih antropogenih sustava proizvodnje hrane te znatno nepovoljnijih uvjeta za njenu proizvodnju.

## KRATKI OPIS NEKIH ERUPCIJA VULKANA

Zanimljivo je napomenuti da je u razdoblju od 535. do 536. godine zabilježena ekstremna hladnoća na sjevernoj hemisferi, najniža u posljednjih 2.000 godina. Do ovog se zaključka došlo primjenom dendrokronoloških metoda (istraživanjima godova drveća) (Bonacci, 2004.). Dodatne potvrde da je došlo do naglog zahlađenja nađene su i u arheološkim nalazima kao i povijesnim zapisima. Pravi razlog ove pojave još nije pouzdano utvrđen, ali se pretpostavlja da je naglo zahlađenje moglo biti uzrokovano ili erupcijom vulkana ili velikom količinom prašine došle iz svemira kao posljedica prodora komete ili meteorita u atmosferu Zemlje. Larsen i sur. (2008.) navode da novija istraživanja koncentracije sulfata u ledenoj kori Grenlanda i Antarktika potvrđuju hipotezu o erupciji vulkana u ekvatorijalnom području. U ledu je pronađeno da je u razdoblju 533.-534. ( $\pm 2$  godine) zabilježeno naglo povećanje koncentracije atmosferske prašine koja je vjerojatno nastala kao posljedica erupcije vulkana u području tropa, što je moglo uzrokovati „vulkansku zimu“ u razdoblju od 535. do 536. godine. Dull i sur. (2010.) smatraju da je spomenuto zahlađenje bilo uzrokovano erupcijom vulkana Tierra Blanca Joven (Ilapango, El Salvador) magnitude 7,0. Oni pretpostavljaju da je njegovom erupcijom u atmosferu bilo ubačeno oko  $84 \text{ km}^3$  vulkanskog materijala, čime je formiran gusti oblak aerosola u stratosferi koji je uzrokovao vrlo hladna ljeta, smanjenu proizvodnju hrane te glad na području od Kine preko Mediterana do srednje Amerike.

Erupcija vulkana Krakatoa 27. kolovoza 1883. predstavlja jednu od vulkanskih erupcija s najvećim brojem žrtava u suvremenoj povijesti. Procijenjeno je da je smrtno stradalo najmanje 36.000 ljudi. Dio je poginuo od rana dobivenih opekotinama, ali je više njih poginulo od razornog tsunamija koji je nastao kao posljedica urušavanja vulkana u područje ispod razine mora. Buđenje ovog vulkana započelo je 20. svibnja 1883. Otok Krakatoa pripada Indoneziji, a smješten je između Jave i Sumatre. Nalazi se u području snažnih vulkanskih aktivnosti koje su rezultat kretanja (podvlačenja) Indoaustralske tektonske ploče ispod Euroazijske. Radi se o malenom otoku širine oko 5 km i dužine oko 9 km. U atmosferu je odletjelo oko  $21 \text{ km}^3$  vulkanskog materijala. Oblak prašine digao se 80 km uvis. Velike količine vulkanskog pepela prekrile su područje od oko  $800.000 \text{ km}^2$ . Područje u okolici otoka bilo je dva i pol dana u potpunom mraku. Vulkanska je prašina nekoliko godina kružila oko Zemlje prouzročivši smanjenje ljetnih temperatura i spektakularne crvene i narančaste zalaske sunca.

U dvadesetom stoljeću najveća erupcija vulkana bila je ona vulkana Pinatubo (Filipini) koja se zbila 12. srpnja 1991. U atmosferu je ubačeno oko  $10 \text{ km}^3$  materijala, a do erupcije je došlo nakon oko 500 godina njegovog mirovanja. Poginulo je 847 ljudi, a evakuirano je oko 500.000 u radijusu od približno 40 km oko vulkana. Šuma je uništena na području približne veličine  $150 \text{ km}^2$ ,

a poljoprivredna je proizvodnja pretrpjela teške štete (osobito proizvodnja riže) na površini od oko  $800 \text{ km}^2$ . Pretpostavlja se da je ova erupcija smanjila temperaturu na sjevernoj hemisferi za oko  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , a na cijeloj planeti za oko  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Već sljedeće 1992. godine na klimu na Zemlji nije više utjecala erupcija vulkana Pinatubo.

Erupcija vulkana Eyjafjallajökull na Islandu započela je 14. travnja 2010. Uzrokovala je prekid zračnog prometa u sjevernoj Europi u trajanju 6 dana, te ga je ometala još punih mjesec dana. Ova erupcija nije utjecala na klimu zbog toga jer je vulkanski pepeo prodro samo do troposfere te je ubrzo, poslije nekoliko tjedana, pao u niže slojeve, a potom se rasprišio i pao na površinu Zemlje. Smatra se da je njegov utjecaj na klimu bio oko 10.000 puta manji nego utjecaj erupcije vulkana Pinatubo. Međutim, uzrokovao je značajne negativne posljedice na društvene procese, prvenstveno zbog prekida zračnog transporta.

## ZAKLJUČAK

Istraživanja utjecaja vulkanskih erupcija na promjenu klime na Zemlji ima posebno značenje stoga jer se na osnovi saznanja o njihovim posljedicama kao jedna od geoinženjerskih (klimatsko-inženjerskih) mjera za smanjivanje globalnog zagrijavanja vrlo aktivno zagovara o injektiranju aerosola u stratosferu (Bonacci, 2009.). Na skali odnosa rizika i cijene koštanja s visokim rizikom i relativno niskom cijenom nalazi se spomenuta tehnologija koja koristi reflektiranje kratkovalne sunčeve radijacije u stratosferu odbijanjem od čestica aerosola. Radi se o metodi koja zagovara modificiranje albeda.

Međutim, na primjenu ove metodu stavljeni su brojni vrlo ozbiljni prigovori. Kao bitno se naglašava da je dokazano da oblaci aerosola u stratosferi utječu na smanjivanje ozona u njoj, čime utječu na pojačavanje prodora štetnog ultraljubičastog zračenja na površinu planete. Osim toga utječu na smanjenje ljetnih monsun (Trenberth i Dai, 2007.), uzrokuju brzo i snažno zatopljenje, ako dođe do naglog prestanka navedene geoinženjerske mjere, smanjuju dotok energije sunca, ugrožavaju zračni promet u visokim slojevima atmosfere te degradiraju rad površinskih astronomske opservatorija i daljinskih istraživanja (*eng. remote sensing*) (Robock i sur., 2013.).

Injektiranje aerosola u stratosferu moglo bi biti poduzeto kao pomoć u nuždi da se zaštiti Zemlja od daljnjeg zagrijavanja, dok globalna emisija stakleničkih plinova ne bude smanjena. Ako se to ne dogodi, koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi će i dalje nesmetano rasti, a štiti od prodora sunčevog zračenja samo će određeno vrijeme (ne predugo) maskirati ili odgoditi porast temperature. Ako se iz bilo kojeg razloga prestane s injektiranjem sumpora u stratosferu, temperatura na Zemlji naglo će porasti zbog povećane koncentracije stakleničkih plinova.

Činjenica je da niti najčišća i najozbiljnija znanost

ne može u potpunosti shvatiti nenamjerne i neočekivane posljedice geoinženjerskih mjera. Pitanje je je li itko sposoban izvesti pokus dovoljno opsežan da dade realne procjene željenih kontra mjera bez da sam taj eksperiment ne izazove potrebu značajnih intervencija? Očito je prerano za donošenje pouzdanih i konačnih odluka. Znanost treba riješiti još mnogobrojne dileme koje su uočene, a vrlo je vjerojatno da će mnogobrojne tek biti otvorene.

Zaključak koji se nameće je vrlo jasan. Erupcije vulkana zasigurno utječu na globalne klimatske procese na planeti, ali kako i u kolikoj mjeri još je uvijek otvoreno

znanstveno pitanje. Stoga je neophodno nastaviti i intenzivirati ova istraživanja bitna za donošenje važnih odluka o kojima ovisi budućnost čovječanstva.

Interes javnosti i medija apsolutno je dobro došao, ali oni, barem za sada kada se o cijeloj problematici nedovoljno zna, ne mogu predstavljati čimbenik koji bi trebao utjecati na donošenje odluka. Veliki problem predstavlja i činjenica da krupni kapital sve više pokazuje interes za uključivanje u ove procese. Pri tome osnovni razlog predstavlja činjenica da njihov interes nije dugoročno "spašavanje planete" već postizanje brzih i velikih profita u kratkom razdoblju. ■

## LITERATURA

- Bonacci, O. 2004. Paleohidrologija i Dendrokronologija. Hrvatska vodoprivreda XIII (135). 30–33.
- Bonacci, O. 2009. Globalno zagrijavanje i geoinženjerske (klimatsko inženjerske) mjere za ublažavanje njegovih posljedica. *Gospodarstvo i okoliš XVII*(97), 142–147.
- Dull, R.; Southon, J.R.; Kutterolf, S.; Freundt, A.; Wahl, D.; Sheets, P.; 2010. Did the TBJ Ilopango eruption cause the AD 536 event? AGU Fall Meeting Abstracts 13, 2370.
- Haslam, M.; Petraglia, M.; (2010.) Comment on "Environmental impact of the 73 ka Toba super-eruption in South Asia" by M.A.J. Williams, S: H. Ambrose, S. van der Kaars, c. Ruehlemann, U. Chattopadhyaya, J. Pal, P.R. Chauhan, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* (2009.) 284, 295–314. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 296, 199–203.
- Issar, A.S. 2003. Climate changes during the Holocene and their impact on hydrological systems. UNESCO & Cambridge University Press. Cambridge.
- Jihong Cole-Dai. 2010. Volcanoes and climate. *Climate Change* 1(6), 824–839.
- Larsen, L.B.; Vinther, B.M.; Briffa, K.R.; Melvin, T.M.; Clausen, H.B.; Jones, P.D.; Siggaard-Andersen, M.L.; Hammer, C.U.; Eronen, M.; Grudd, H.; Gunnarson, B.E.; Hantemirov, R.M.; Naurzbaev, M.M.; Nicloussi, K. 2008. New ice core evidence for a volcanic cause of the A.D. 536 dust veil. *Geophysics Research Letters* 35(4).
- Miller, G.H.; Geirsdóttir, Á.; Zhong, Y.; Larsen, D.J.; Otto-Bliesner, B.L.; Holland, M.M.; Bailey, D.A.; Refsnider, K.A.; Lehman, J.R.; Southon, J.R.; Anderson, C.; Björnsson, H.; Thordarson, T. 2012. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea/ocean feedbacks. *Geophysics Research Letters* 39(2).
- Pinto, J.P.R.; Turco, P.; Toon, O.B. 1989. Self-limiting physical and chemical effects in volcanic eruption clouds. *Journal of Geophysical Research* 94, D8.
- Robock, A. 2013. The latest on volcanic eruptions and climate. *EOS* 94(35), 305–306.
- Robock, A.; Ammann, C.M.; Oman, L.; Shindell, D.; Levis, S.; Stenchikov, G. 2009. Did the Toba volcanic eruption of ~74 ka B.P. produce widespread glaciation? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 114(D10).
- Robock, A.; MacMartin, D.G.; Duren, R.; Christensen, M.W. 2013. Studying geoengineering with natural and anthropogenic analogs. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-013-0777-5 (prihvaćeno za tisak).
- Savino, J.; Jones, M.D. 2007. Supervolcano: the catastrophic event that changed the course of human history: could Yellowstone be next. Career Press. Franklin Lakes.
- Solomon, S.; Portman, R.W.; Daniel, J.S.; Davis, S.M.; Sanford, T.J.; Plattner, G.-K. 2010. Contributions of stratospheric water vapor to decadal changes in the rate of global warming. *Science* 327, 1219–1223.
- Timmreck, C. 2012. Modeling the climatic effects of large explosive volcanic eruptions. *Climate Change* 3(6), 545–564.
- Timmreck, C.; Graf, H.-F.; Lorenz, S.J.; Neimeier, U.; Zanchettin, D.; Matei, D.; Jungclaus, J.H.; Crowley, T.J. 2010. Aerosols size confines climate response to volcanic super-eruptions. *Geophysical Research Letters* 37(24).
- Trenberth, K.E.; Dai, A. 2007. Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analogue of geoengineering. *Geophysical Research Letters* 34(15).