

## UČINCI VULKANSKIH ERUPCIJA NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE

Eugenija ŽUŠKIN, Jadranka MUSTAJBEGOVIĆ, Jagoda DOKO JELINIĆ,  
Jasna PUCARIN-CVETKOVIĆ i Milan MILOŠEVIĆ

*Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, Škola narodnog zdravlja, Zagreb, Hrvatska*

Primljeno u svibnju 2007.  
Prihvaćeno u listopadu 2007.

Vulkani predstavljaju prijetnju za gotovo pola milijarde ljudi: danas je na Zemlji aktivno oko 500 vulkana, a svake se godine događa 10 do 40 njihovih erupcija. Posljedice erupcija vulkana odražavaju se na okoliš, utječu na klimu te na život i zdravlje ljudi, a vezani su uz pogoršanje socijalnih i gospodarskih uvjeta života. U okoliš s magmom uz vodenu paru ( $H_2O$ ), na površinu dopijevaju plinovi ugljikov dioksid ( $CO_2$ ) i sumporov dioksid ( $SO_2$ ), ugljikov monoksid ( $CO$ ), vodikov sulfid ( $H_2S$ ), ugljikov sulfid ( $CS$ ), ugljikov disulfid ( $CS_2$ ), klorovodik ( $HCl$ ), vodik ( $H_2$ ), metan ( $CH_4$ ), fluorovodik ( $HF$ ), bromovodik ( $HBr$ ) i različiti organski spojevi te teški metali (živa, olovo, zlato). Njihovi nepovoljni učinci ovise o udaljenosti od vulkana te o eruptivnim obilježjima, tj. o viskozitetu magme i koncentraciji plinova. Štetnosti bliže vulkanu uključuju piroklastične rijeke, rijeke blata, plinova i vodene pare, potrese, zračne udare i tsunامي. U štetnosti u udaljenim područjima ubrajaju se učinci toksičnosti vulkanskog pepela i zdravstveni problemi vezani uz dišni sustav, oči, kožu, zatim psihološke posljedice, ozljede, komunikacijski i transportni problemi, problem odlaganja otpada i opskrbe vodom, rušenje kuća, kao i pad strujnog napona. Dolazi do pogoršanja kvalitete vode i smanjenja kišnih razdoblja, oštećenja poljoprivrednih usjeva, uništavanja vegetacije. Za vrijeme vulkanskih erupcija i neposredno nakon njih povećan je morbiditet, posebno od respiratornih bolesti, a povećan je i mortalitet osoba zahvaćenih vulkanskom erupcijom. Nepovoljni zdravstveni učinci mogu se djelomično prevenirati pravodobnom primjenom zaštitnih mjera.

**KLJUČNE RIJEČI:** učinci na zdravlje, učinci vulkana na okoliš i klimu, magma i lava, neprofesionalna izloženost, profesionalna izloženost, vulkanski plinovi

Prirodne katastrofe, najčešće uzrokovane stalnim obnavljanjem površine Zemlje i mijenjanjem oblika što dovodi do velikih pokretanja slojeva Zemljine kore, ponavljano nas neugodno iznenađuju. Pri tome se najčešće javljaju dvije povezane pojave: potresi i vulkanske erupcije, pri čemu potresi često prethode vulkanskim erupcijama. Takvi su primjeri veliki tsunami 2004. godine u Šri Lanki s više od 170.000 smrtnih slučajeva te nedavno, 11. travnja 2007. godine erupcija vulkana na Siciliji. Iz neposredne blizine Sicilije, s maloga vulkanskog otoka, potječe i sam naziv "vulkan". Njegovi su stanovnici vjerovali da je vulkan dimnjak kovačnice odnosno talionice boga Vulkan. Vulkane su ljudi kroz cijelu povijest

i na svim zemljopisnim prostorima doživljavali kao nadnaravnu i moćnu opasnost: Vulkan, rimski bog (odgovara mu bog Hefest u grčkoj mitologiji), bog je vatre, željeza i samih vulkana, kojeg su stanovnici uz obale Tibra nastojali udobrovoljiti bacajući žive ribe u vatru; havajske legende tumače erupcije vulkana kao posljedice ljutnji prekrasne božice Pele; američki Indijanci, koji su živjeli blizu Mazama prije više od 600 godina, objašnjavali su erupcije vulkana kao posljedicu ratovanja bogova (1).

Danas postoji oko 500 aktivnih vulkana na Zemlji, svake se godine događa 10 do 40 njihovih erupcija te su vulkani prijetnja za najmanje 455 milijuna ljudi (2). Veliki vulkani erumpiraju tijekom "svojev života"

tisuće puta tijekom stotina tisuća ili milijuna godina, kao što je to primjer vulkana Kilea na Havajima, pojedini stoljećima miruju, a treći su opet aktivni samo kratko vrijeme - nekoliko dana ili tjedana i nikada ne erumpiraju ponovo. Posljedice erupcija vulkana odražavaju se na okoliš, utječu na klimu te na život i zdravlje ljudi.

## OPĆI UČINCI VULKANSKIH ERUPCIJA

Zemljin 100-kilometarski litosferski sloj, zajedno s krutim dijelom plašta, podijeljen je u 12 tektonskih ploča koje plutaju na užarenoj žitkoj masi unutrašnjeg sloja Zemlje (*astenosfere*) (3). Područja na kojima se te tektonske ploče sastaju mjesta su gdje se javljaju vulkanske erupcije: jedna tektonska ploča podvlači se pod drugu, dolazi do postepenog otapanja donje ploče te otopljena masa, magma, zbog promjena dubinskog tlaka i visoke temperature od 800 °C do 1200 °C, putuje prema površini da bi izbila preko gornje ploče. Plinovi se pod visokim tlakom uglavnom otapaju u magmi. Međutim, pokretanjem magme prema površini gdje je tlak niži, plinovi stvaraju mjehuriće povećavajući volumen i razrjeđujući magmu te dodatno pridonose njezinu kretanju prema površini. Kada magma s plinovima probije Zemljinu koru, dolazi do erupcije vulkana.

Najčešći plinovi tijekom erupcije uključuju vodenu paru ( $H_2O$ ), ugljikov dioksid ( $CO_2$ ) i sumporov dioksid ( $SO_2$ ). Od ostalih plinova oslobađaju se ugljikov monoksid (CO), vodikov sulfid ( $H_2S$ ), ugljikov sulfid (CS), ugljikov disulfid ( $CS_2$ ), klorovodik (HCl), vodik ( $H_2$ ), metan ( $CH_4$ ), fluorovodik (HF), bromovodik (HBr).

Uz plinove, oslobađaju se i različiti organski spojevi te teški metali (živa, olovo, zlato). Vulkan Merapi oslobađa i brojne druge metale i halogene elemente u različitim koncentracijama (4).

Tijekom vulkanske erupcije oslobađaju se fine čestice kamena, minerala, stakla i vulkanski pepeo. Fine čestice pepela vjetar nosi tisućama kilometara od vulkana ovisno o brzini vjetra i vrsti erupcije (5). U jednoj od najstarijih erupcija spominje se ona prije sedam tisuća godina kada je Mt. Mazama izbacio 22 tisuće kubnih metara magme, a vulkanski je pepeo padao preko velikog dijela Sjeverne Amerike od Kanade do Nebraske.

### *Nepovoljni učinci vulkanskih erupcija*

Učinci erupcije vulkana odražavaju se na okoliš, klimu, na život i zdravlje ljudi i vezani su uz pogoršanje

socijalnih i gospodarskih uvjeta života. Na osnovi udaljenosti od vulkana, nepovoljni učinci vulkanskih erupcija svrstavaju se u štetnosti bliže i dalje od vulkana (6), a način aktivnosti vulkana određuje prirodu učinaka. Naime, osim erupcijom, magma može dospjeti na površinu Zemlje i polagano, jednoličnim izlivanjem. Pri tome nastaju bazalni pokrovi, kao npr. otok Island u SAD-u i poluotok Dekan u Indiji (5). Štetnosti bliže vulkanu uključuju piroklastične rijeke, rijeke blata, plinova i vodene pare, potrese, zračne udare i tsunami. Piroklastične rijeke čine vrući plinovi što se oslobađaju i putuju brzinom i od 160 km/h do 180 km/h. U štetnosti u udaljenim područjima ubrajaju se učinci toksičnosti vulkanskog pepela i zdravstveni problemi vezani uz dišni sustav, oči, kožu, zatim psihološke posljedice, ozljede, komunikacijski i transportni problemi, problem odlaganja otpada i opskrbe vodom, rušenje kuća, kao i pad strujnog napona.

Osim pogoršanja kvalitete vode i smanjenja kišnih razdoblja, učinci vulkanskih emisija uzrokuju ubranu koroziju metalnih predmeta te imaju za posljedicu oštećenja poljoprivrednih usjeva, uništavanja vegetacije te štetno djeluju na zdravlje čovjeka (7).

### *Promjena reljefa*

Snažne erupcije imaju katastrofalne posljedice za okoliš i uglavnom odnose velik broj ljudskih žrtava. Tako je erupcija vulkana Krakatau u Indoneziji 1883. godine raznijela veći dio otoka pri čemu je izazvala i najjači zvuk zabilježen u povijesti koji se čuo na udaljenosti od 5.000 km (8). Nakon erupcije nastao je plimni val visok oko 36 m, a poginulo je više od 36 000 ljudi. Nešto slično zabilježeno je i s vulkanom Mt. Pelee na karipskom otoku Martinique 1902. godine čija je erupcija potpuno razorila grad St. Pierre u roku od nekoliko sati i usmrtila oko 30.000 ljudi.

Vjerojatno najveća vulkanska erupcija koja se dogodila unutar zadnja 2 milijuna godina, prije oko 75.000 godina, bila je erupcija vulkana Toba na Sumatri, pri čemu je količina izbačenog materijala iznosila 2.800 km<sup>3</sup> na području od oko 2.000 km<sup>2</sup>, nakon čega je nastalo jezero Toba (9).

### *Onečišćenja zraka, vode i tla*

Vulkanske erupcije pridonose urbanim i ruralnim onečišćenjima zraka, što je poznato kao vulkanski smog ili "vog". Onečišćenje zraka mijenja se s nadmorskom visinom tako da koncentracija voga raste do nadmorske visine od 183 m, a iznad te visine koncentracija voga se ponovno smanjuje (10).

Glavna onečišćenja u vogu su CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub>. Procjenjuje se da vulkani oslobađaju u atmosferu svake godine između 130 i 230 milijuna tona CO<sub>2</sub> koji kao staklenički plin pridonosi globalnom zatopljenju (11).

Magma može uzrokovati promjene u podzemnim vodama dovodeći do njihova onečišćenja, uzrokujući porast ili pad razine i povišenje temperature vode. Mjerenjem dubine i temperature vode mogu se utvrditi značajne promjene u ponašanju vulkanskog sustava.

### *Promjena klime*

Klima je također pod utjecajem vulkanskih aktivnosti (12, 13). Vulkani su prirodni put kojim se Zemlja hladi i navodi se hlađenje Zemljine površine za 3 °C do 4 °C nakon erupcije vulkana Toba prije 75.000 godina (12). Oblaci pepela i SO<sub>2</sub> smanjuju dospijevanje sunčevih zraka na Zemlju uzrokujući globalno zahlađenje, a osim toga uništavaju i ozonsku ovojnicu.

Globalna klima bila je uvijek pod utjecajem erupcija vulkana: najpoznatije zabilježene promjene klime su godine 1883. nakon erupcije vulkana Krakatau, Tambora 1815. i 1991. godine vulkana Mt. Pinatubo na području Filipina. Erupcija vulkana Mt. Pinatubo 1991. godine bila je jedna od najvećih u prošlom stoljeću tijekom koje je stvoren najveći oblak SO<sub>2</sub> ikada utvrđen u stratosferi, premda je bio manji nego tijekom erupcije Tambora 1815. i Krakataua 1883. godine (14). Pri erupciji Mt. Pinatuba 1991. godine oslobođeno je oko 17 milijuna tona SO<sub>2</sub> u atmosferu. Kao posljedica toga površina Zemlje se ohladila u sljedeće tri godine za oko 1,3 stupnja. Erupcija Mt. Tambora na otoku Sumbawa 1815. godine uzrokovala je "godinu bez ljeta" u Sjevernoj Americi.

## UČINCI NA ZDRAVLJE ČOVJEKA

Štetnosti djelovanjem vulkanskih erupcija na zdravlje čovjeka mogu se svrstati u izravne i neizravne, a prema vremenu javljanja na neposredne i posredne ili kasne (15). Nakon vulkanske erupcije mogu se razviti akutni i/ili kronični simptomi i bolesti, a utvrđen je odnos "doza-odgovor", pri čemu se učinci mogu kretati sve do smrtnog ishoda, posebno pri oštećenju dišnog sustava. Kratkotrajna izloženost može uzrokovati simptome kao što su glavobolja, vrtoglavice, nemir, znojenje, umor, depresija, opća

neizvjesnost. Opisano je i privremeno povećanje učestalosti bolesti koje se vjerojatno javljaju kao posljedica stresa: bolesti živčanog sustava te bolesti srca i krvnih žila, osobito u starijih osoba. Visoka temperatura plinova može izazvati opekline na koži i sluznicama dišnih putova. Izloženost plinovima i pepelu može oštetiti sluznice te uzrokovati nadražaj očiju, osobito u onih koji nose kontaktne leće. Simptomi od strane očiju uključuju neugodnost ili nadražaj tijekom i nakon padanja grubih čestica vulkanskog pepela. Na očima se javljaju promjene u obliku osjećaja stranog tijela u očima, oči postaju bolne, dolazi do ogrebotina na rožnici, akutnih upala spojnice, crvenila, pečenja u očima i preosjetljivosti na svjetlo (16). Javlja se podražaj nosa, ždrijela i gornjih dišnih putova, teškoće disanja, pomanjkanje daha, hripanje, kašalj i iskašljaj, a osobito u osoba s astmom i bronhitisom (17). Vog uzrokuje slične simptome, a posebice bronhalnu hiperreaktivnost te povećanu osjetljivost za infekcije dišnih putova.

Udisanje finih čestica pepela može pogoršati već postojeće bolesti, kao npr. astmu i kronični bronhitis. Ozbiljnost i učestalost simptoma od strane dišnog sustava u osoba izloženih udisanju štetnih sastojaka pepela nakon vulkanske erupcije najviše ovise o udjelu respirabilnih čestica i o koncentraciji slobodnog silicijeva dioksida u zraku. Pri tome su djeca i starije osobe sa srčanim i plućnim problemima najviše ugroženi.

Povećani morbiditet vezan uz erupcije vulkana posljedica je češćih odlazaka u hitne službe i primitka u bolnice zbog traumatskih oštećenja i respiratornih problema uzrokovanih izravno s padanjem pepela. Uporaba lijekova za astmu značajno se povećava nakon erupcije vulkana.

### *Specifični učinci u uvjetima profesionalne i/ili neprofesionalne izloženosti*

Osobe koje žive i rade u području vulkanskih erupcija imaju brojne zdravstvene teškoće kao posljedice negativnih učinaka (5, 15). Posebnom riziku izloženi su radnici koji rade u geotermalnim elektranama, geolozi i osobe uključene u vulkanski turizam ili snimanja dokumentarnih filmova. Radovi u vulkanskim i geotermalnim područjima mogu rezultirati izloženosti plinovima SO<sub>2</sub>, HF, HCl i H<sub>2</sub>S čijim otapanjem u vodi nastaju kiseline, te plinovima teških metala kao što su aluminij, živa, arsen u većim koncentracijama nego u uobičajenim profesionalnim uvjetima. Takva izloženost može dovesti do razvoja

iritativne astme, uključujući i reaktivni disfunkcijski sindrom dišnih putova (RADS).

Česticama vulkanskog pepela najviše su izložene osobe koje rade u vrtovima, čistači ulica, radnici na cestama i u građevinarstvu, prometni policajci. Takva profesionalna izloženost vulkanskom pepelu koji sadržava dovoljno kristalnog silicija može uzrokovati i razvoj blage silikoze. Ovisno o sastavu vulkanskog pepela, izloženost istaloženom novom ili starom vulkanskom pepelu potencijalno povećava rizik od silikoze ili čak azbestoze i mezotelioma.

Glavni problem turista koji posjećuju vulkanska područja, kao i onih koji rade kao turistički vodiči jesu posjekline i ogrebotine od padova i oštih vulkanskih grebena, nadražaj dišnog sustava i nadražaj očiju. Turisti često zadobiju i opekline drugog stupnja, neopreznim ponašanjem, pri promatranju slikovitih oblaka koji se stvaraju pri ulazu lave u more, što je u stvari gusta magla klorovodične kiseline.

#### *Specifični učinci na mortalitet*

Smatra se da je već spomenuti razorni vulkan Toba pri svojoj erupciji prije 74.000 godina usmratio oko 99 % ukupne ljudske populacije smanjujući tadašnju

populaciju od oko milijun stanovnika na manje od 10.000 (18). Pretpostavlja se da je erupcija "super" vulkana Santorini (Thera) u Egejskom moru, za koju se procjenjuje da se dogodila između 1550. i 1650. godine prije Krista također uzrokovala velik broj žrtava u širokom području od Krete do Egipta (19).

Vjerojatno najstarije pisano izvješće o smrtnim slučajevima zbog erupcije vulkana potječe od Plinija mlađeg koji je pisao povjesničaru Tacitu o smrti svog oca Plinija starijeg nakon erupcije Vezuva 79. godine (20). U razdoblju od 1600. do 1980. godine vulkanske erupcije usmratile su gotovo četvrt milijuna ljudi: od čega više od polovice u Indoneziji (160.000 ili 67 %); u karipskoj regiji 32.000 ili 13 %; u Japanu 19.000 ili 8 %, a oko 30.000 ili 12 % u ostalim dijelovima svijeta (21). Samo tijekom 20. stoljeća vulkanske erupcije uzrokovale su oko 55.000 smrtnih slučajeva.

Tablica 1 navodi neke vulkanske erupcije koje su usmratile 1.000 i više osoba počevši od 79. godine u Italiji do 1993. godine na Filipinima (22-24). Tablica 2 prikazuje neke od aktivnih vulkana tijekom 2006. i 2007. godine.

Povećani mortalitet zbog vulkanskih erupcija uvjetovan je neposrednim i kasnim, posrednim

Tablica 1 *Vulkanske erupcije kroz povijest koje su izravno odnijele 1000 i više ljudskih života (22-24)*

Vulkan	Godina	Broj smrtnih slučajeva
Vezuv, Italija	79.	3360
Vezuv, Italija	1631.	3500
Oshima, Japan	1741.	1475
Papandayan, Indonezija	1772.	2957
Laki, Island	1783.	9350
Asama, Japan	1783.	1377
Unzen, Japan	1792.	14300
Mayon, Filipini	1814.	1200
Tambora, Indonezija	1815.	92000
Cotopaxi, Ekvador	1877.	1000
Galunggung, Indonezija	1882.	4011
Krakatau, Indonezija	1883.	36417
Mount Pelee, Martinique	1902.	29025
Soufriere, St. Vincent	1902.	1680
Taal, Filipini	1911.	1335
Kelut, Indonezija	1919.	5110
Lamington, Papua Nova Gvineja	1951.	2942
Agung, Indonezija	1963.	1184
El Chichon, Meksiko	1982.	2000
Ruiz, Kolumbija	1985.	25000
Jezero Nyos, Kamerun	1986.	1700

učincima. Neposredni učinci su najčešće gušenje (76 %), toplinsko oštećenje (12 %) ili ozljede (12 %) uzrokovane pepelom ili drugim vulkanskim štetnostima. Kao najčešći uzroci smrtnosti navode se vulkanski pepeo, istjecanje magme, tsunami i rijeka blata. Kasne posljedice odražavaju se kao zdravstvena oštećenja koja su izravno proporcionalna stupnju oštećenja okoliša i osobito su izražena u osoba koje duže žive ili rade blizu kratera, u područjima koja su zahvaćena eksplozivnim udarom, istjecanjem piroklasta ili blata ili jakim padanjem pepela. Broj smrtnih slučajeva nakon erupcije vulkana povećava se i do sto puta uglavnom kao posljedica loših gospodarskih uvjeta: zbog gladovanja, poplava, požara, ekstremno nepovoljnih vremenskih prilika, uraganskih vjetrova i bolesti.

## POVOLJNI UČINCI VULKANSIKH ERUPCIJA

Posljedice djelovanja vulkana na život ljudi i okoliš mogu biti i povoljne: plodna zemlja, nalazišta vrijednih minerala, geotermalni izvori, lijep krajolik. I dok su nalazišta metala usko povezana s vulkanskim erupcijama, ne dovode sve vulkanske erupcije do deponiranja metala i zapravo su takvi vulkani rijetki.

Vruća magma miješa se s podzemnim vodama formirajući aktivne geotermalne sustave kao npr. izvore, blato, gejzire i vruća kisela jezera (25). Takve

vruće vode pune su cirkulirajućih metala kao što su bakar, cink, željezo i zlato i potencijalno stvaraju sulfide. Temperatura vode koja izlazi iz hidrotermalnih otvora može iznositi i do 400 °C. Kod kopanja u blizini vulkanskih površina vrući rezervoari vode isparavaju i postaju para s temperaturom od 160 °C do 330 °C. Takve hidrotermalne karakteristike mogu trajati stotinama i tisućama godina. Budući da vruća voda sadržava više otopljenih krutih tvari, osobito vrući izvori koji često sadržavaju visoke koncentracije minerala, zbog slikovitog izgleda postaju popularna turistička odredišta, kao na primjer gejziri u Yellowstonekom nacionalnom parku u SAD-u i vulkani na Islandu.

## PREDVIĐANJE VULKANSIKH ERUPCIJA I PREVENCIJA UČINAKA

### *Predviđanje vulkanskih erupcija*

Nije moguće kontrolirati vulkane, no može se procjenjivati njihov potencijalni obuhvat i vrijeme erupcije te omogućiti privremenu ili trajnu evakuaciju područja koje može biti znatno pogođeno. Dobar primjer takve procjene je evakuacija stanovništva prilikom erupcije vulkana Pinatubo na Filipinima 1991. godine pri kojoj je unatoč izrazito velikoj razornoj moći u blizini napučenog prostora, broj žrtava znatno smanjen, na oko 300.

Tablica 2 Neki od vulkana aktivnih tijekom 2006. i 2007. godine

Ambae, Island	Swanose-Jima, Japan
Pacaya, Guatemala	Hokkaido, Japan
Fuego, Guatemala	Sakura-Jima, Japan
Santa Maria, Guatemala	Oyama, Japan
Anatahan, Mariana otoci	Dukono, Indonezija
Arenal, Kostarika	Merapi, Indonezija
Poas, Kostarika	Mount Karangetang, Indonezija
Popocatepetl, Meksiko	Semeru, Indonezija
Colima, Meksiko	Bulusan, Filipini
Bagana, Papua Nova Gvineja	Mayon, Filipini
Ulawun, Papua Nova Gvineja	Mt. Clevelan, Aljaska
Manam, Papua Nova Gvineja	San Cristobal, Nikaragva
Rabaul, Papua Nova Gvineja	Galeras, Kolumbija
Bezymianny, Rusija	Ubinas, Peru
Karymsky, Rusija*	Langila, Nova Britanija
Sheveluch, Rusija*	Ol Doinyo Lengai, Tanzanija
Kiluchevskoi, Rusija*	Soufriere, Monserrat, Indija
Kilauea, Havaji*	Tungurahua, Ekvador*

\*Vulkani aktivni i u 2007. godini

U pokušaju predviđanja vulkanskih erupcija, vulkanolozi se koriste trima aktivnostima u vulkanu i oko njega: seizmičkom aktivnošću, deformacijom zemlje i ispuštanjem plinova. Prije erupcije, magma se pomiče u područja ispod vulkana i skuplja u rezervoarima. Pomicanje magme uzrokuje potrese i vibracije i oticanje vrha nagiba vulkana. Seizmografskim bilježenjem utvrđuje se intenzitet i učestalost vibracija. Deformacija nagiba vulkana daje vanjski znak aktivnosti unutar vulkana. Kako se magma približava površini oslobađaju se plinovi, a pomicanjem magme prema površini mijenja se i sastav plinova uglavnom povećanjem udjela HCl i SO<sub>2</sub>.

Posljednjih dvadesetak godina infracrveni senzori meteoroloških i vojnih satelita, osim što omogućuju precizno mjerenje temperature područja, prate i promjene poput "nadimanja" planina (brda) koje su teško vidljive iz podnožja. Uz poznavanje geološkog sastava područja gdje se praćenja vrše, moguće je prognozirati erupcije i odrediti stupanj opasnosti.

Jedna od mjera sprečavanja velikog broja žrtava u ugroženom području, kad je vulkan već erumpirao, jest skretanje tokova magme ili zaustavljanje magme građenjem zapreka ili hlađenjem magme vodom gdje je to moguće (primjer je otok Heymaney, Island 1973. godine).

#### *Prevenција nepovoljnih zdravstvenih učinaka*

Pri vulkanskim erupcijama medicinske mjere imaju vrlo malenu ulogu, pa su pretežno usmjerene na zaštitu od ozljeda i gubitaka života. U vrijeme vulkanskih erupcija ljudi trebaju izbjegavati izloženost, izbjegavati aktivnosti na otvorenome te prozore i vrata treba držati zatvorenima. Pri boravku vani trebaju nositi zaštitne maske ili mokre rupčice kako bi se smanjilo udisanje čestica pepela. Disanje treba biti površno kako se čestice ne bi udahnule u dublje dišne putove.

Osobe s kroničnim bronhitisom, emfizemom i astmom te kardiovaskularnim bolestima trebaju poduzeti dodatne zaštitne mjere, međutim treba biti oprezan jer upotreba respiratora u tih osoba može dovesti i do dodatnoga kardiopulmonalnog stresa. Općenito, potrebno je piti mnogo tekućine, smanjiti tjelesna opterećenja, izbjegavati izloženost drugim onečišćenjima, posebice prašinama, smanjiti pušenje, izbjegavati izloženost hladnoći, boraviti u zatvorenim prostorijama, a u slučaju potrebe uzimati odgovarajuće lijekove. Potrebno je ograničiti turističke posjete aktivnim vulkanima koji prijete erupcijama.

#### LITERATURA

1. Volcanoes and mythology [pristup 26. ožujka 2007.]. Dostupno na <http://www.crystalinks.com/volcanomyth.html>
2. Hansell A, Oppenheimer C. Health hazards from volcanic gases: A systematic literature review. Arch Environ Health 2004;59:628-39.
3. Clemens AJC. Natural hazards. Evacuation and military implication [pristup 14. veljače 2007.]. Dostupno na [http://www.defence.gov.au/dpe/dhs/infocentre/publications/journals/NoIDs/ADFHealthApr02/ADFHealthApr02\\_3\\_1\\_25-30.html](http://www.defence.gov.au/dpe/dhs/infocentre/publications/journals/NoIDs/ADFHealthApr02/ADFHealthApr02_3_1_25-30.html)
4. Volcano Hazards Program. Volcanic gases and their effects [pristup 14. veljače 2007.]. Dostupno na <http://volcanoes.usgs.gov/Hazards/What/VolGas/volgas.html>
5. Newhall GC, Fruchter SJ. Volcanic activity: A review for health professionals. Am J Public Health 1986;76(Suppl):10-24.
6. Volcanic eruptions. Six types of eruptions [pristup 22. siječnja 2007.]. Dostupno na <http://www.britannica.com/eb/article-253599/volcano>
7. McGee AK, Doukas PM, Kessler R, Gerlach MT. Impact of volcanic gases on climate, the environment, and people [pristup 14. veljače 2007.]. Dostupno na <http://pubs.usgs.gov/of/1997/of97-262/of97-262.html>
8. Dorries M. Global science: the eruption of Krakatau. Endeavour 2003;27:113-6.
9. Lake Toba. [pristup 06. listopada 2006.]. Dostupno na [http://en.wikipedia.org/wiki/Lake\\_Toba](http://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Toba)
10. Popocatepetl, Mexico. Eruptive history [pristup 16. srpnja 2007.]. Dostupno na [http://volcano.und.edu/wdocs/current\\_volcs/popo/mar5popo.html](http://volcano.und.edu/wdocs/current_volcs/popo/mar5popo.html)
11. Hawaiian Volcano observatory. Volcano watch. Vog: a volcanic hazard [pristup 26. listopada 2006.]. Dostupno na [http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/1996/96\\_05\\_29.html](http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/1996/96_05_29.html)
12. Hansell LA, Horwell JC, Oppenheimer C. The health hazards of volcanoes and geothermal areas. Occup Environ Med 2006;63:149-56.
13. Volcano hazards and prediction of volcanic eruptions. Volcano hazards [pristup 04. travnja 2007.]. Dostupno na <http://www.tulane.edu/~csanelson/geol204/volhaz&pred.html>
14. Tayag JC, Punongbayan RS. Volcanic disaster mitigation in the Philippines: experience from Mt. Pinatubo. Disasters 1994;18:1-15.
15. Bernstein SR, Buist AS. Public health aspects of volcanic hazards: Evaluation and prevention of excessive morbidity and mortality due to natural disasters. Disasters 1984;8:6-8.
16. Horwell JC, Baxter JP. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. Bull Volcanol 2006;69:1-24.

17. Baxter JP. Medical effects of volcanic eruptions. *Bull Volcanol* 1990;52:532-44.
18. Super-eruptions and their impacts on climate, environment and human populations. [pristup 23. travnja 2007.]. Dostupno na <http://www.geog.cam.ac.uk/research/projects/supereruptions/>
19. Santorini, Greece. [pristup 12. srpnja 2007.]. Dostupno na [http://volcano.und.edu/vwdocs/volc\\_images/europe\\_west\\_asia/santorini.html](http://volcano.und.edu/vwdocs/volc_images/europe_west_asia/santorini.html)
20. Buist AS, Bernstein SR, Johnson RL, Vollmer MW. Evaluation of physical health effects due to volcanic hazards. *Human studies. Am J Public Health* 1986;76(Suppl):66-75.
21. Buist AS, Bernstein SR. Health effects of volcanoes: An approach to evaluating the health effects of an environmental hazard. *Am J Public Health* 1986;76(Suppl):1-2.
22. Blong RJ. *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*. Orlando: Academic Press; 1984.
23. Current Volcanic Activity. [pristup 03. rujna 2007.]. Dostupno na [http://volcano.und.edu/vwdocs/current\\_volcs/current.html](http://volcano.und.edu/vwdocs/current_volcs/current.html)
24. Simkin T, Siebert L. *Volcanoes of the World*. Tucson (AZ): Geoscience Press; 1994.
25. Advanced Industrial Science and Technology (AIST). *Volcanic eruptions and the blessing from the Earth. The Blessing of volcanoes: The front line of utilization of geothermal heat* [pristup 04. travnja 2007.]. Dostupno na [http://www.aist.go.jp/aist\\_e/aist\\_today/2005\\_16/feature/feature\\_05.html](http://www.aist.go.jp/aist_e/aist_today/2005_16/feature/feature_05.html)

### Summary

#### EFFECTS OF VOLCANIC ERUPTIONS ON ENVIRONMENT AND HEALTH

Volcanoes pose a threat to almost half a billion people; today there are approximately 500 active volcanoes on Earth, and every year there are 10 to 40 volcanic eruptions.

Volcanic eruptions produce hazardous effects for the environment, climate, and the health of the exposed persons, and are associated with the deterioration of social and economic conditions. Along with magma and steam (H<sub>2</sub>O), the following gases surface in the environment: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), carbon sulphide (CS), carbon disulfide (CS<sub>2</sub>), hydrogen chloride (HCl), hydrogen (H<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), hydrogen fluoride (HF), hydrogen bromide (HBr) and various organic compounds, as well as heavy metals (mercury, lead, gold).

Their unfavourable effects depend on the distance from a volcano, on magma viscosity, and on gas concentrations. The hazards closer to the volcano include pyroclastic flows, flows of mud, gases and steam, earthquakes, blasts of air, and tsunamis. Among the hazards in distant areas are the effects of toxic volcanic ashes and problems of the respiratory system, eyes and skin, as well as psychological effects, injuries, transport and communication problems, waste disposal and water supplies issues, collapse of buildings and power outage. Further effects are the deterioration of water quality, fewer periods of rain, crop damages, and the destruction of vegetation.

During volcanic eruptions and their immediate aftermath, increased respiratory system morbidity has been observed as well as mortality among those affected by volcanic eruptions. Unfavourable health effects could partly be prevented by timely application of safety measures.

**KEY WORDS:** *climate, health effects, magma and lava, nonoccupational exposure, occupational exposure, volcanic gases*

#### CORRESPONDING AUTHOR:

Prof. dr. sc. Eugenija Žuškin  
Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet,  
Škola narodnog zdravlja "Andrija Štampar"  
Rockefellerova 4, 10000 Zagreb  
E-mail: [ezuskin@sanz.hr](mailto:ezuskin@sanz.hr)