

Vulkani

Polona Kralj



Vulkanski izbruh. Foto: Shutterstock.

Uvod

Vulkanizem je naraven pojav, ki že od pradednine vzbuja strahospoštovanje. O tem govorijo starodavni miti o demonih in bogovih v notranjosti Zemlje, ki so se ohranili pri različnih ljudstvih in kulturah od Tihega oceana do Sredozemlja. Tudi sodobne, tehnološke visoko razvite družbe, kot so na primer Japonska, Islandija ali Nova Zelandija, se še vedno soočajo z nepredvidljivo in pogosto uničujočo močjo vulkanskega delovanja ter z njim povezanimi drugotnimi procesi.

Vulkanske pojave so prvi začeli razumsko preučevati grški filozofi. Njihove zamisli o izvoru Zemljine toplote in vulkanskega delovanja zaradi gorenja žvepla, katrana in premoaga ob pihanju podzemnih vetrov so z vidika današnjega védenja zelo naivne, a so prevladovale še v srednjem veku. Naprednejša spoznanja so prinesla šele dela Leopolda von Bucha, Alexandra von Humboldta in Pouletta Scropeja v prvi četrtini 19. stoletja. Leta 1912 je Alfred Wegener geološki javnosti predstavil teorijo tektonike plošč, vendar je ostala nerazumljena in nepovezana z izvorom in pojavljanjem vulkanov na Zemlji vse do leta 1960. Takrat sta Frederick Vine in Drummond Matthews našla pasasto razporeditev nasprotno usmerjenih magnetnih mineralov v bazalnih srednjeatlantskega grebena. Ta razporeditev sledi menjavanju Zemljinega magnetnega pola na vsakih nekaj sto tisoč do milijon let ter dokazuje, da je skorja oceanskega dna geološko mlada in je začela nastajati ob delitvi nekdanje velikanske celine Pangee na manjše gibajoče se litosferske plošče oziroma

sedanje celine.

Ko je novembra leta 1964 približno 30 kilometrov od islandske obale zrasel iz morja nov otok, imenovan Surtsey, so znanstveniki prvič zbrali podrobne podatke o zapletenih fizikalnih procesih, ki nastanejo ob stiku magme (raztaljene kamninske mase) in vode. Izbruhi so lahko močno eksplozivni in takrat se magma razprši na zelo majhne delce, steber izbruhanega prahu pa lahko seže do več kot 50 kilometrov visoko v stratosfero. Tudi izbruh islandskega vulkana Eyjafjallajökulla leta 2010 je nastal zaradi



Slika 1: Litosferske plošče z obrisi celin in najpomembnejšimi delujočimi vulkani na kopnem (rdeče pike). Puščice na mejah litosferskih plošč ponazarjajo konvergentne (\leftrightarrow) oziroma divergentne ($\leftarrow\rightarrow$) robove. Slika privrejena po Schminckju (2004).

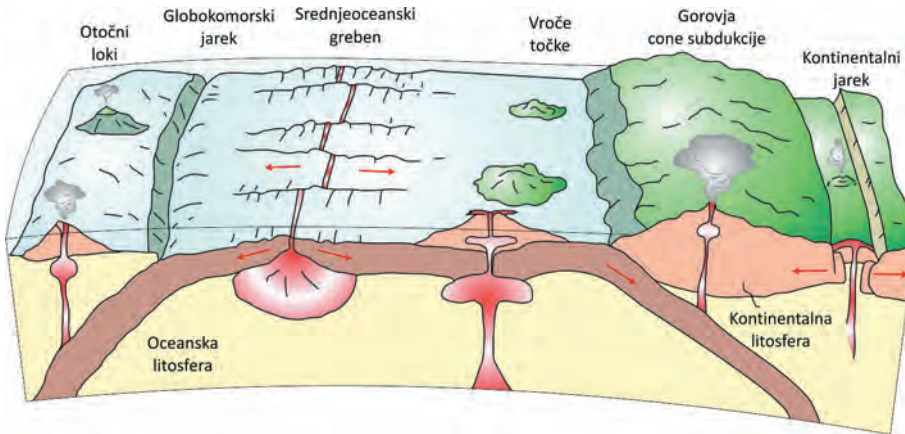
stika magme in vode in je močno presenetil Evropo kljub visoki stopnji njene tehnološke razvitosti.

Po izbruhu Eyjafjallajökulla smo se prebivalci Evrope morda prvič zavedli, da vulkani in vulkansko delovanje niso tako oddaljeni, kot smo mislili nekoč. S tem naravnim pojavom se bo človeštvo soočalo na takšen ali drugačen način tudi v prihodnje, morda celo bolj pogosto, kot smo bili vajeni do sedaj, zato ga želimo približati tudi našim bralkam in bralcem in hkrati opozoriti na njegovo nepredvidljivo moč. Delujoči vulkani so danes postali priljubljena turistična zanimivost, ki privablja radovedneže z vseh koncev sveta, vendar je treba poudariti, da sta nepremišljenost in prevelik pogum stala življenje že mnoge, tudi izkušene in dobro opremljene znanstvenike.

Kje so vulkani

Na podlagi hitrosti širjenja potresnih valov, ki je odvisna predvsem od gostote kamnine, so se razvila sodobna spoznanja o zgradbi Zemlje. V njenem središču je jedro, sesta-

vljeno iz železa in niklja, njegov polmer pa meri približno 3480 kilometrov. Kot ovoj ga obdaja približno 2870 kilometrov debeli plašč iz železovih in magnezijevih silikatov, predvsem minerala olivina. Delimo ga na spodnji plašč, zgornji plašč in astenosfero. Astenosfera je plastični židki pas zgornjega dela plašča, ki se razteza 100 do 200 kilometrov pod površjem Zemlje, lahko pa sega celo do 400 kilometrov pod površjem. Nad astenosfero je trdna skorja, ki je pod celinami debela v povprečju 25 kilometrov (ponekod pod gorstvi lahko doseže tudi debelino do 70 kilometrov), pod oceani pa od 5 do 7 kilometrov. Vrhnji del astenosfere in skorjo imenujemo litosfera, ki je debela do 200 kilometrov in je razlomljena na litosferske plošče (slika 1). Več kot tri četrtine vulkanov na Zemlji se nahaja tam, kjer se dve litosferski plošči razmikata, to je na srednjeoceanskih grebenih, slaba osmina vseh vulkanov v okoljih podrivanja ene litosferske plošče pod drugo in dobra osmina na območjih vročih točk v Zemljini skorji. Področja razmikajočih se litosferskih plošč imenuje-



Slika 2: Model okolij, kjer se na Zemlji pojavlja vulkanizem. Globokomorski jarek je mesto, kjer oceanska plošča pod nekim kotom potone pod drugo ploščo, oceansko ali celinsko. To ploskev tonjenja zaznamujejo hipocentri velikih potresov in jo imenujemo Wadati-Benioffova cona. Slika prevzeta po Schminckeju (2004).

mo tudi divergentni ali konstruktivni robovi plošč (slika 2). Tam izhaja največja skupna letna količina magme na Zemlji, ki znaša v povprečju 18 kubičnih kilometrov. Celotni sistem srednjeoceanskih grebenov je dolg 70.000 kilometrov in obkroža vso Zemljo. Če bi se spustili v globino Atlantika 3,5 do 4,5 kilometra pod morsko gladino, bi stali v osrednjem jarku, širokem 20 do 30 kilometrov. Iz njega se na obe strani strmo dvigajo 2 do 2,5 kilometra visoki vrhovi podmorskih gora, ki se navzven položno spuščajo. Jarek se na leto razširi za približno 5 do 9 centimetrov in za toliko se Evropa in Afrika oddaljita od Amerike.

Območja približevanja in podrivanja dveh litosferskih plošč imenujemo tudi konvergentni, subdukcijski ali Wadati-Benioffovi robovi plošč (slika 2). V zadnjih 10.000 letih je vulkansko najbolj dejavno območje na Zemlji, povezano s podrivanjem litosferskih plošč, tako imenovani ognjeni obroč, ki obkroža Tih ocean. Kjer se oceanska plošča podriva pod drugo oceansko ploščo, nastanejo otočni loki, kot so na primer Indonezijsko, Aleutsko, Kurilsko ali Filipinsko otočje. Kjer pa se oceanska plošča podriva pod celinsko ploščo, nastanejo dvignjena gorstva z nizi vulkanov, kot so na primer

Andi in Skalnogorje v Južni oziroma Severni Ameriki.

V okoljih podrivanja litosferskih plošč prodre na površje Zemlje skupaj v povprečju 8 kubičnih kilometrov magme na leto. Tam, kjer ena plošča prične toniti pod drugo, nastane globok jarek. Marianski jarek na primer doseže v najglobljih delih skoraj 11 kilometrov. Vulkani so razporejeni v nizu, ki je od jarka oddaljen približno 150 do 300 kilometrov v smeri tonjenja plošče. Magma nastajajo z delnim taljenjem potonjene plošče na globini 100 do 150 kilometrov in so po sestavi najpogosteje bazaltne, andezitne ali riolitne.

V Zemljinem plašču temperatura in s tem tudi gostota kamninske mase nista enakomerno razporejeni. Vroče točke so mesta, kjer je raztaljena kamninska masa plašča gobasto ali prstasto dvignjena blizu površja. Ta vzdignjena telesa so 50- do 150-krat bolj vroča kot okolica in so vir magme ter vzrok močne vulkanske dejavnosti. Vroče točke se nahajajo v oceanih ali na kopnem (slika 2). V oceanih nastanejo najprej podmorske gore, vendar le malo od njih pokuka na morsk gladino in ustvari otok. Ocenjujejo, da je samo v Tihem oceanu pod morjem skrito več kot milijon podmorskih gora. Med tisti-



Slika 3: Vulkanska pokrajina na Kamčatki. V ozadju je značilni stožčasti stratovulkan Hodutka, pred njim pa niz stožcev skorje, ki so nastali ob prelomu. Kamčatka je zaradi podirivanja Pacifiške plošče pod Evrazijsko vulkansko močno dejavno območje.

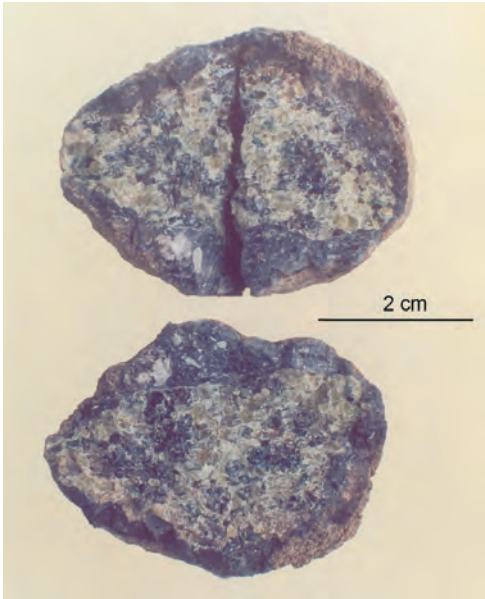
mi, ki so zrastle v otok ali otočje, so najbolj poznani Islandija, Havajsko, Zelenortske, Azorske in Galapaško otočje. Vroče točke sredi celin so na primer Yellowstone v Združenih državah Amerike, v terciarju pa smo imeli takšno vulkansko delovanje tudi v Evropi v Franciji (Centralni masiv), Nemčiji (Renski ščit), na Češkem (Češki masiv) in v Panonskem bazenu, od koder je seglo tudi k nam v Grad na Goričko. Močno vulkansko delovanje sredi celin je lahko vezano tudi na globoke jarke, kot sta Vzhodnoafriški ali Bajkalski jarek ter jarek Rio Grande. Na vročih točkah in v celinskih jarkih skupno izhaja na Zemljino površje povprečno 3,5 kubičnega kilometra magme na leto.

Vulkani imajo lahko različne oblike, čeprav si jih najpogosteje predstavljamo kot stožčaste hribe ali gore (slika 3). Najpomembnejše oblike vulkanov so stratovulkani, ščitasti vulkani, maarji, tufski obroči, stožci skorje in vulkanske kupole. *Sestavljeni ali stratovulkani* so zgrajeni iz izmenjavajočih se plasti piroklastičnega materiala in strjenih tokov lave. Njihova pobočja so strmejša kot pobočja ščitastih vulkanov. *Ščitasti vulkani* imajo široka položna pobočja in so nastali z zapo-

rednimi izbruhi razmeroma tekoče bazaltske lave. *Maarji* so veliki, plitvi vulkanski kraterji. Nastali so ob eksplozijah, ko je talnica prišla v stik z vročo lavo. V teh kraterjih nastanejo kraterska jezera. Iz maarjev nastanejo *tufski obroči*. *Stožci skorje* nastanejo kot posledica manjših izlivov lave v začetnem obdobju vulkanskega delovanja. *Vulkanske kupole* so gomile strjene lave. Oblikujejo se po novih izbruhih v kraterjih, ki so nastali, ko so vulkani ob eksploziji izgubili svoj vrh.

Kaj bruhajo vulkani

Magma je talina večinoma silikatne sestave v Zemljini notranjosti, ki nastaja z delnim taljenjem kamnin Zemljinega plašča in v manjši meri tudi spodnjih delov Zemljine skorje (slika 4). Glavni sestavini magme sta silicij in kisik. Večina vulkanskih kamnin vsebuje od 40 do 75 masnih odstotkov silicijevega dioksida (SiO_2). Najbolj razprostranjena vulkanska kamnina na Zemlji in večini planetov je bazaltna lava, ki vsebuje približno 50 masnih odstotkov silicijevega dioksida. Nekaj več silicijevega dioksida (55 do 70 masnih odstotkov) je v andezitnih in dacitnih kamninah, najbogatejši pa so rioli-



Slika 4: Peridotitna nodula z Goričkega. Nepopolno staljena kamnina Zemljinega plašča (jedro nodule) je obdana s tankim ovojem alkalnega bazalta (črni ovoj z belimi vtrošniki plagioklazov), ki je nastal z delnim taljenjem peridotita.

ti, ki vsebujejo od 70 do 75 masnih odstotkov silicijevega dioksida. Poleg silicija in kisika vsebujejo magme tudi aluminij, železo, titan, magnezij, kalcij, natrij, kalij, fosfor, številne sledne prvine (tiste, katerih vsebnost je zelo majhna in običajno ne presega 0,1 masnega odstotka) in pline, med katerimi sta najpogostejša vodna para in ogljikov dioksid. Neobičajne in zelo redke so nesilikatne magme, na primer karbonatitne, ali pa sulfidne taline, ki izhajajo iz nekaterih fumarol. Zelo znan in v današnjem času dejaven vulkan, ki bruha karbonatitne magme, je Ol Doinyo Lengai v Tanzaniji, kamnine pa so sestavljene v glavnem iz kalcita.

Ko magma prodre na površje in se po njem

Slika 5: Vulkan Etna na Siciliji. Izbruh lave in vulkanskih bomb leta 2001.





Slika 6: Izbruh vulkanskega pepela in prahu iz vulkana Eyjafjallajökull na Islandiji leta 2010.

razlije, jo imenujemo lava ali lavin tok, v slovenskem jeziku pa enako imenujemo tudi kamnino, ki iz nje nastane. Lave (tekoče in strjene) večinoma vsebujejo kristale, ki so rasli v magmi med njenim počasnim ohlajanjem v magmatskih ognjiščih ali med dvigovanjem skozi litosfero. Takšne kristale, ki so vidni s prostim očesom, imenujemo vtrošnike ali fenokristale. Najpogostejše pripadajo glinencem, olivinu, piroksenom, redkeje tudi kremenu, biotitu in amfibolom. Vtrošniki se zaradi večje gostote, kot je ostala talina, mehansko kopičijo in postopno spreminjajo sestavo magme, kar imenujemo frakcijska kristalizacija.

Pri eksplozivnem vulkanskem delovanju se magma razprši na večje in manjše kose ter drobce, ki jih imenujemo juvenilni piroklasti (slika 5 in slika 6). Glede na velikosti piroklastov ločimo vulkanski prah (piroklasti so manjši od 1/16 milimetra), vulkanski pepel (od 1/16 do 2 milimetra), lapile (od 2 do 64 milimetrov) ter bombe in bloke (ti piroklasti so večji od 64 milimetrov). Ko se piroklasti usedejo na površje, nastane vulkanoklastična usedlina ali vulkanoklastit, ki se polagoma strdi v kamnino. Iz vulkanskega pepela in prahu nastane tuf, iz vulkanskega pepela in lapilov pa lapilni tuf (slika 7).

Eksplozivna vulkanska dejavnost in postvulkanski procesi

Očem najlepše in hkrati najbolj nevarne in eksplozivne vulkane, katerih izbruhi imajo vpliv na podnebje celotnega planeta (na primer Tambora, El Chichón, Cerro Hudson, Gunung Agung), najdemo v okoljih podirvanja litosferskih plošč. Tu so procesi nastajanja in spreminjanja magme drugačni, zelo pomembna je tudi večja vsebnost vodne pare in drugih plinov, ki izvirajo predvsem iz usedlin morskega dna, ki so potonile s ploščo. Ko se magma začne

dvigovati proti površju, se začnejo zaradi manjšega tlaka plini izločati v obliki plinskih mehurčkov. Če jih je dovolj (navadno več kot 65 odstotkov), eksplodirajo, pri tem pa nastane vroč dvofazni sistem trdnih delcev in plinov. Ta se z veliko hitrostjo, tudi do več kot 600 metrov na sekundo, dvigne v ozračje v obliki stebra, ki se v zgornjem delu razširi v kot dežniku ali gobi podoben oblak, iz katerega začnejo piroklasti zaradi težnosti padati nazaj na Zemljino površje. Kadar pa je ta dvofazni sistem zelo gost in težak, se ne more vzdigniti visoko v troposfero in stratosfero, temveč se giblje navzdol, po pobočju vulkana. Imenujemo ga piroklastični tok in je eden najbolj uničujočih vulkanskih pojavov. Ti oblaki vulkanskega prahu, pepela in pogosto tudi velikih kamninskih blokov lahko dosežejo hitrosti več kot 300 kilometrov na uro in lahko potujejo več kot 100 kilometrov daleč, njihova temperatura pa doseže tudi več kot 800 stopinj Celzija. Ko je leta 1902 izbruhnil vulkan Pelée na karibskem otoku Martinique, je vroč piroklastični tok v nekaj minutah dosegel 8 kilometrov oddaljeno mesto St. Pierre. V nekaj trenutkih je umrlo vseh 29.000 ljudi, razen zapornika, ki je preživel v ječi, delno vkopani v ka-



Slika 7: Vulkanski pepel in prah se usedeta v plasteh in se spremenita v kamnino, ki jo imenujemo tuf. Pogled na zaporedje tufov s Smrekovca, ki so nastali v morskem okolju v oligocenu pred več kot 20 milijoni let. V krogu je za merilo kladivo, veliko 27 centimetrov.

mnito steno. V novejšem času sta po velikih piroklastičnih tokovih znana predvsem vulkana Sveta Helena (leta 1980) v Združenih državah Amerike in Unzen (leta 1991) na Japonskem.

Eksplzivni izbruh vulkana pa lahko povzroči tudi zunanja voda, ki pride v stik z magmo. Ta zunanja voda je lahko vodonosna plast pod površjem, ledenik ali pa telo stoječe vode, navadno je to kraterjevo jezero. Na Islandiji je zaradi hladnega podnebja takšen način pogost, naj spomnimo le na izbruh vulkana Eyjafjallajökull (slika 6) in Grimsvötn. Treba pa je poudariti, da vsak stik zunanje vode in magme ne privede do eksplozije, temveč le, če je njuno razmerje pravo. Nenadno močno taljenje snega in ledu je izredno nevarno. V zelo kratkem času se lahko ustvari uničujoč poplavni val blatnega toka, ki je zelo nepredvidljiv in tudi zelo hiter. Vulkanoklastično usedlino, ki s takšnim tokom nastane, imenujemo lahar. Leta 1985 je izbruhnil kolumbijski vulkan Nevado del Ruiz in sama vulkanska dejavnost ne bi bila posebej nevarna, če ne bi prišlo do taljenja ledu in nastanka blatnega toka, ki je zašel v korito reke Lagunillas, od tam pa je z rečnim tokom potoval še 27 kilometrov do mesta Armero, ki je bilo popolnoma nepripravljeno na ta dogodek. Lahar je v nekaj trenutkih pod seboj pokopal 23.000 ljudi, to je tri četrtine prebivalstva.

Vpliv vulkanske dejavnosti na podnebje

Veliki vulkanski izbruhi vplivajo na celotno podnebje Zemlje. To povezanost je prvič zabeležil Benjamin Franklin leta 1783, čeprav je zmotno menil, da je gosto modrikasto meglo in izjemno hladno zimo povzročil izbruh Hekle. Toda takrat spremembe podnebja ni povzročil ta znameniti islandski vulkan, ki so ga v srednjem veku imenovali kar Vrata pekla, temveč vulkan Laki. Junija leta 1783 je vulkan izvrigel 12,5 kubičnega kilometra bazaltne lave in le 0,7 kubičnega kilometra vulkanskega pepela, vendar so bili spremljajoči vulkanski plini izredno bogati s fluorom. Ta se je usedel na pašnike tako, da je na Islandiji poginilo tri četrtine domačih živali. Zaradi zastrupitve s fluorom in lakote je umrlo 10.000 ljudi, kar je predstavljalo eno petino takratnega prebivalstva. Močno ohladitev so v Evropi zaznali tudi dvakrat v 19. stoletju, eno leto po izbruhu indonezijskega vulkana Tambore leta 1815 in po izbruhu Krakataua leta 1883. Sodobne znanstvene raziskave vpliva vulkanskega delovanja na podnebje so sledile izbruhu mehiškega vulkana El Chichón leta 1982. Takrat so ugotovili, da je za podnebne spremembe kriv predvsem aerosol žveplove (VI) kisline (H_2SO_4), ki je nastal iz 13 megaton izvrženega žveplovega dioksida. Podrobne raziskave podnebnih sprememb so sledile tudi leta 1991 ob izbruhu vulkana Pinatubo

v Filipinskem otočju. Danes vemo, da veliki in močno eksplozivni vulkanski izbruhi, bogati z žveplovim dioksidom, lahko za nekaj let znižajo povprečno letno temperaturo na Zemlji za 0,2 do 0,5 stopinje Celzija in morda celo več kot stopinjo Celzija, kar je zelo veliko. Veliko sodobnih znanstvenikov pa se sprašuje, kako bi se s posledicami vulkanskega izbruha velikih razsežnosti soočila sodobna družba. Tako imenovani megavulkanski (ali tudi supervulkanski) izbruhi izvržejo več kot 100 kubičnih kilometrov magme. Njihova povratna doba je od 10.000 do 100.000 let. Taki izbruhi bi lahko spremenili podnebje na Zemlji v ledenodobno. Omeniti pa je treba še izumiranja rastlinskih in živalskih vrst, ki so po mnenju nekaterih tudi povezana z megavulkanskimi izbruhi in posledično spremembo podnebja.

Vulkani in letalstvo

Eksplozivna vulkanska dejavnost povzroča težave v letalstvu, vendar le večjim reaktivnim letalom, kot je na primer Boeing 747. Turbine večjih letal se med obratovanjem močno segrejejo, tudi preko 700 stopinj Celzija, zato se vulkanski pepel na njih lahko stali in motorji prenehajo delovati. Če je veliko žveplovega dioksida, lahko pride na turbinah tudi do sublimacijske kristalizacije. To se je zgodilo leta 1982, ko je letalo Boeing 747 družbe British Airways letelo nad vulkanom Galunggung v Indoneziji na višini 11.300 metrov ravno v času vulkanskega izbruha. V 16 minutah je letalo izgubilo 3800 metrov višine, nato pa je pilotoma uspelo ponovno zagnati motorje in letalo je zasilno pristalo v Džakarti. Vulkanski prah iz Eyjafjallajökulla, katerega je leta 2010 zaneslo nad Evropo, je bil izredno drobnozrnat (večina delcev je bila velikih manj kot 10 mikrometrov), vendar pa je bila gostota vulkanskega oblaka vsaj 4000-krat manjša, kot je bila nad Galunggungom. Ob lanskem izbruhu vulkana Grimsvötn je bila Evropa sicer previdna, a so letališča kmalu odprli in sprostili letalski promet. Evropa se je v

enem letu dobro pripravila na ta dogodek, čeprav ga nismo pričakovali, vsaj ne tako kmalu.

Dobre strani vulkanov

Vulkansko delovanje ne pomeni le grožnje, temveč nam prinaša tudi veliko dobrega in lepega. Vulkani so ogromen vir toplotne energije. V okolici vulkanov površinska voda pronica pod površje in se močno segreva. V naravi to lahko vidimo v obliki gejzirov in vrelcev vroče vode. Z vrtnami lahko zajamemo velike količine vodne pare in vroče vode. Izrabljamo jih v geotermalnih elektrarnah, ki jih danes najdemo v številnih državah po svetu, od Islandije, Japonske, Nove Zelandije, Filipinov, Ruske federacije do Združenih držav Amerike. V vulkanskih kamninah najdemo nahajališča kovinskih mineralov, kot sta baker ali zlato, pomembne pa so tudi vulkanske kamnine kot vir nekovinskih mineralnih surovin, na primer glin ali zeolitov. Rodovitna vulkanska tla že od davnine privlačijo poljedelske kulture, kljub nenehni grožnji uničenja. In ne nazadnje – vulkansko delovanje nas razvaja tudi s čarobno lepoto stožčastih vulkanskih gora.

Literatura:

Schmincke, H.-U., 2004: *Volcanism. Berlin: Springer. 324 str.*
Sigurdsson, H., Houghton, B. F., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J., 2000: *Encyclopedia of Volcanoes. San Diego: Academic Press. 1417 str.*