

# Dvě tváře vulkanismu

## Výbušná (explozivní) versus výlevná (efuzivní) sopečná erupce

Jana Žďárská

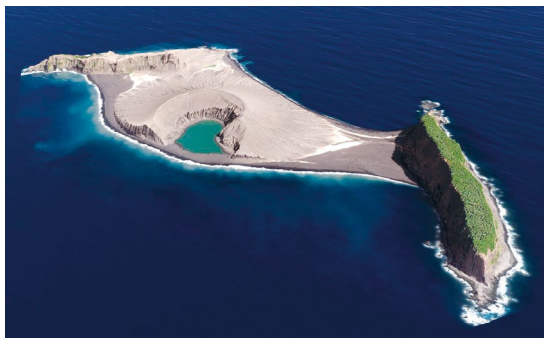
Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Sopečná činnost je pro planetu Zemi velmi důležitá, protože kvůli ní neustále dochází k obnově zemské kůry a udržování pozemské atmosféry. Sopečné erupce mohou být výlevné či explozivní a během nich jsou vyvrhovány prachové částičky do atmosféry planety, kde pak mohou různými způsoby ovlivnit klima na Zemi. Každá nová sopečná erupce může přinášet zkázu, ale i nové odpovědi na otázky vědců.

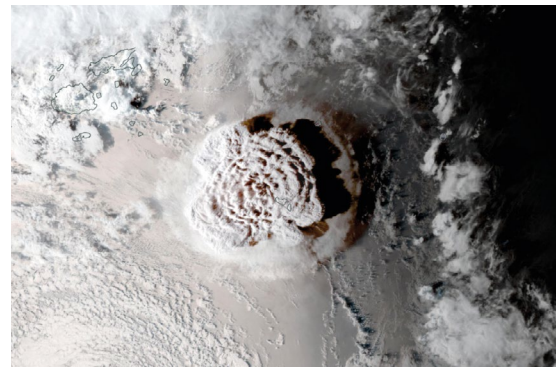
**N**ejsvrchnější vrstva Země (pokud nepočítáme atmosféru), tzv. litosféra, není jednoduše jako třeba skořápka vajíčka, ale je tvořena litosférickými deskami, které se vůči sobě kvůli *plastické astenosféře*<sup>1</sup> mohou pohybovat. Desková tektonika umožňuje nejen tvorbu a obnovu zemské kůry, ale i chlazení planety. Žádný jiný objekt ve Sluneční soustavě (s možnou výjimkou s výjimkou některých ledových měsíců) známky deskové tektoniky nevykazuje.

V oceánech, kde je tenčí oceánská kůra (nežli zemská), se často jedna litosférická deska zasouvá pod druhou či pod mnohem silnější kontinentální kůru. Při pohybu litosférických desek proniká na povrch prostřednictvím sopek magma, tedy směs roztavených hornin a plynů, která se nachází pod povrchem Země. Sopečné erupce mohou být klidné i velmi bouřlivé, což závisí především na složení magmatu. Tento proces, tzv. vulkanismus, působí na základě projevů vnitřní energie planety na souši i mořském dně.

1 Název pochází z řeckého slova asthenos – slabý či bez síly. Někdy se tedy hovoří o oslabené vrstvě Země.



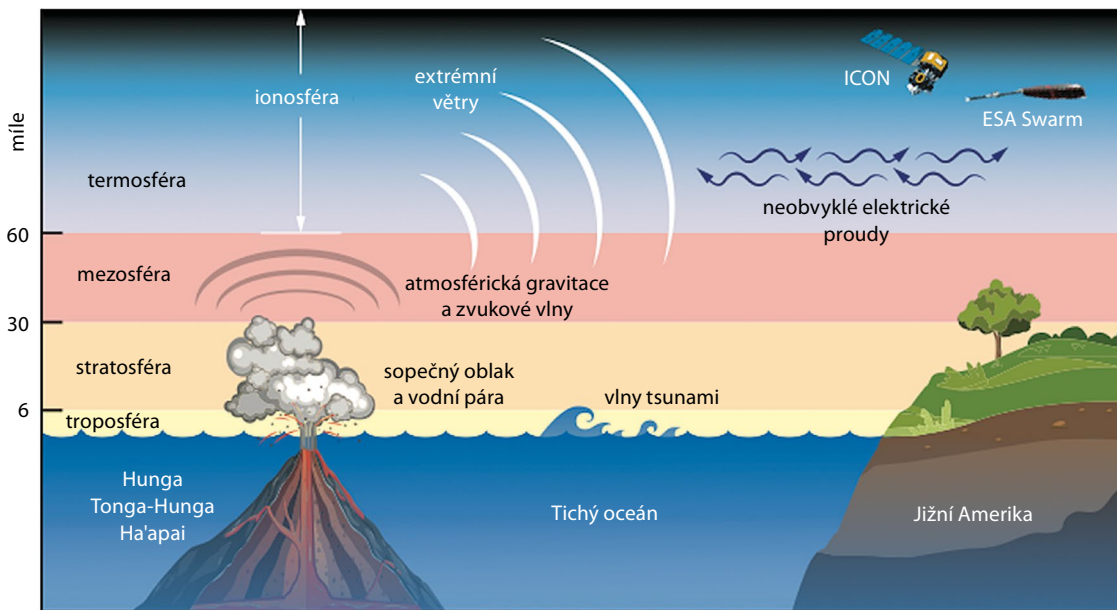
**Obr. 1** Podvodní sopka Hunga Tonga-Hunga Ha'apai vybuchla v lednu roku 2022. Jednalo se o velmi dramatickou explozivní sopečnou erupci, která vyvrhla do ovzduší obrovské množství plynu a prachu a jejíž doprovodná expanze páry způsobila sonický třesk. Kredit: NASA



**Obr. 2** Podvodní sopka Tonga vychrlila sloupec prachu a částiček hornin až do výšky zhruba 58 km. Zde pohled na vulkán Tonga z vesmíru. Kredit: NASA Worldview, NOAA/NESDIS/STAR

Na některých místech, například při aktivním okrajích kontinentů, dochází k procesu, během kterého se zasouvá jedna litosférická deska pod druhou. V těchto místech je tak stará oceánská kůra zanořována pod zemský povrch a tam postupně roztavována. „Při tomto pohybu se zanášá do podzemí obrovitánské množství vody, které je navázané v horninách, jež oceánskou desku tvoří. A jakmile se tato voda dostane do hlubin Země, kde je více tepla a větší tlak, dokáže se z těchto minerálů uvolnit a pak rozbít vazby mezi jednotlivými atomy a tím ničit minerály, které horniny vytvářejí. Díky tomu stačí nižší teplota na to, aby se hornina začala tavit. V blízkosti nořících se litosférických desek tak vzniká obrovské množství magmatu, které se dere na povrch a může zásobovat sopečnou činnost po dlouhou dobu. Krásně to můžeme vidět na pásu sopek tvořících Andy nebo Aljašku,“ vysvětluje Petr Brož, vulkanolog pracující v Geofyzikálním ústavu Akademie věd ČR.

To je právě příklad podvodní sopky zvané Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, která vybuchla v lednu roku 2022. Jednalo se o velmi dramatickou explozivní sopečnou erupci, která vyvrhla do ovzduší obrovské



**Obr. 3** Uvolnění oblaku sopečného prachu společně se sopečnými plyny do atmosféry může ovlivnit i klima planety – může jej oteplovat i ochlazovat, podle toho, jak vysoko jsou prachové částičky společně se sopečnými plyny vyvrženy. Kredit: NASA's Goddard Space Flight Center/Mary Pat Hrybyk-Keith

množství plynu a prachu a jejíž doprovodná expanze páry způsobila sonický třesk. Následkem sopečné erupce byla i vlna cunami, která postihla mnoho obyvatel v blízkém i vzdálenějším okolí. Petr Brož k tomu dodává: „I když se v případě erupce sopky jedná o velmi zajímavý přírodní jev, díky němuž se vědci a vědkyně mohou leccos nového dozvědět, vždycky je potřeba mít na paměti, že spousta lidí v blízkosti následky takové exploze velmi trpí. Na druhou stranu v této oblasti platí, že kdyby tam sopečná činnost neprobíhala, království Tonga by neexistovalo. Nebyly by tam žádné ostrovy. Sopky život tedy nejenom berou, ale také ho dávají skrze tvorbu nových ostrovů.“

Explozivní sopečná erupce v království Tonga byla podvodní erupcí. V takovém případě vždy velmi záleží na tom, jak hluboko k ní dojde. Pokud v hloubce větší než několik set metrů je tlak vody příliš velký, tak se sopečné plyny nedokážou z magmatu uvolňovat a vzniká tak tzv. polštářová láva<sup>2</sup>. Pokud ale k sopečné erupci dojde v mělčí části moře, může nastat skutečně zničující erupce. Tlak plynů totiž dokáže váhu vody přetlačit. Je to kvůli tomu, že voda ochlazující lávu o teplotě téměř 1 000 °C je pře-

2 Termín označující specifické polštářovité či bochníkovité tvary, které vznikají při opakujícím se rychlém zatuhnutí proudu lávy, vylévajícího se do vody. Pro tyto lávové polštáře je typická sklovitá struktura jejich povrchu.



**Obr. 4** Opakem explozivní erupce jsou výlevné sopečné erupce (odborně označované jako efuzivní erupce), které zpravidla probíhají na Islandu, Havaji nebo na středooceánských hřbetech. Kredit: Mokslo Sriuba

měňována na vodní páru, která vlivem expanze zabírá mnohem větší objem. Expandující vodní pára přitom nevytláčuje pouze vodu, ale také trhá kousičky lávy a vytváří z ní jemnozrnný popel, který se pak dostává do atmosféry. Podvodní vulkán Tonga vychrlil sloupec prachu a částic hornin až do výšky zhruba 58 km.

Sopečná činnost a uvolnění oblaku sopečného prachu společně se sopečnými plyny do atmosféry může ovlivnit i klima planety. Může jej oteplovat i ochlazovat – to podle toho, jak vysoko jsou prachové částičky společně se sopečnými plyny vyvrženy. „Obecně to funguje tak, že pokud se vyvržený materiál dostane do troposféry, tedy do nižší části atmosféry, nevydrží tam příliš dlouho. Déšť ho totiž dokáže snadno a poměrně rychle, tedy v řádu dnů či měsíců, z atmosféry dostat. Jakmile se však dostane až do stratosféry, může tam vydržet třeba i roky, protože ve stratosféře už neprší. Velmi přitom záleží na tom, co se s prachem do stratosféry dostane. Sopky totiž během svého běsnění uvolňují plejádu sopečných plynů. Pokud se tak do stratosféry dostane oxid siřičitý, může z něj vzniknout aerosol kyseliny sírové. Pokud se tak stane v troposféře, vzniklé kapičky aerosolu pohlcují teplo a způsobují zahřívání planety. Když se ale aerosol dostane až do stratosféry, tak zde naopak teplo odráží a v ten moment může dojít k ochlazení. Na Zemi totiž nedopadne tolik slunečního záření. Tady je dobře vidět, že sopka může způsobit změnu klimatu – a to klima jak oteplí, tak i ochladit.“

Opakem explozivní erupce jsou výlevné sopečné erupce (odborně označované jako efuzivní erupce), které zpravidla probíhají na Islandu, Havaji nebo na středooceánských hřbetech. Island se přitom nachází na místě, kde se od sebe oddalují dvě litosférické desky – Severoatlantická a Euroasijská. Je to oblast, kde nad hladinu moře vystupuje středoatlantický hřbet a kde vzniká nová zemská kůra. Při oddalování těchto litosférických desek vzniká oslabená oblast s řadou prasklin, po kterých k povrchu proudí magma. Jedná se však o magma jiného složení než toho, které zásobuje sopky spjaté se subdukčními zónami. „Magma může být různého složení v závislosti na tom, jaký materiál se taví. A právě zde se dostává na povrch magma, které



**Mgr. Petr Brož, Ph.D.**, (\*1984) působí od roku 2010 jako vědecký pracovník v Geofyzikálním ústavu Akademie věd ČR, kde se věnuje výzkumu sopečné činnosti napříč Sluneční soustavou. Specializuje se na projevy sopečné činnosti na povrchu Marsu; převážně na malá sopečná tělesa vznikající při krátkodobé sopečné aktivitě vlivem odplyňování magmatu. Doktorské (2012–2015) i magisterské (2008–2010) studium absolvoval na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Během studia pobýval na zahraničních stážích v německém DLR a britské Open University. Je laureátem Prémie Otto Wichterleho, udělované mimořádně kvalitním a perspektivním vědeckým pracovníkům Akademie věd do 35 let jejich věku a Ceny Nadání Josefa, Marie a Zdeňky Hlávkových pro talentované studenty a mladé talentované vědecké pracovníky do 33 let věku. Společně s Lucií Škodovou je autorem bestselleru *Vesmírníček aneb usínáme s vědou*, která byla v roce 2022 ve finále Magnesie Litery za debut roku.

*v sobě nemá tolik sopečných plynů jako u sopek vznikajících nad oblastmi subdukce a které není tak bohaté na křemík. Křemík je totiž schopen se v horninách spojovat a v magmatu vytváří dlouhatánské řetízky. A čím více těchto řetízků v magmatu je, tím hůře magma teče. A čím hůře teče, tím více plynu se v něm může zachytit a tím se zvyšuje šance na explozivní erupci. Pokud je křemíku naopak málo, láva teče dobře a sopečné plyny z ní snadno unikají. To má za následek, že sopky v těchto oblastech produkují často lávy, které se snadno rozléva-*

*jí po povrchu a bez většího nebezpečí. Nedochází totiž k ohromným explozím. Tedy pokud se na vrcholku sopky nenachází ledovec nebo jezero. To může situaci změnit,*“ vysvětluje Petr Brož. A láva, pokud neteče z nějakého obzvlášť příkrého kopce, teče tak rychle, že je možno před ní bez problémů odejít.

Ostrov Island se nachází přímo na Středoatlantském hřbetu, ale současně i v místě, kde se pod povrchem nachází *plášťová pluma* – zvláštní místo, kde v zemském plášti dochází k nebývalému tepelnému toku. Velké množství tepla, které se z nitra Země dere na povrch, pak umožňuje masivní tavení hornin tvořících svrchní plášť. A souhra těchto dvou jevů způsobuje, že je tento ostrov geologicky i vulkanicky velmi aktivní. Místní obyvatelé jsou proto na sopky zvyklí a zajímají se o ně, o čemž svědčí i to, že při nedávném výbuchu jedné z nich došlo v této oblasti přímo k dopravnímu kolapsu. Lidé ale od sopky neprchali, naopak – jeli se na novou sopku podívat.

Ale i v případech výlevné sopečné erupce, která je klidná a nehrozí explozí, je třeba dbát na bezpečnost. Vytékání lávy totiž mohou doprovázet i výrony jedovatých sopečných plynů, které jsou velmi nebezpečné. Některé uvolněné plyny jsou totiž těžší než vzduch, a tak v podstatě tečou krajinou a mohou zabít zvířata i lidi. A Petr Brož k tomu opět dodává: „*Sopky jsou fascinující, už jenom proto, že bez sopek by nebyl život. Sopky ten život vlastně pomáhají vytvářet tím, že tvoří novou zemskou kůru a souš na planetě, ale jsou také schopny regulovat množství plynu, který máme v atmosféře. A tím pomáhat udržovat příhodné podmínky pro rozvoj života na povrchu Země. Navíc sopky lidi fascinují. Když někde teče láva nebo prostě vylézá to obrovské mračno sopečného popela vysoko nad atmosférou, je to úchvatná podívaná. Vždycky je ale potřeba mít na paměti, že v místě běsnění sopky žije spousta lidí, kteří v ten moment trpí. Za tou krásou je tak velké utrpení místních. Mě osobně aktivní sopky svou krásou uhranuly. Baví mě se na jejich činnost dívat a přitom přemýšlet nad tím, k čemu během jejich probuzení dochází, a snažit se to pochopit.*“



**Obř. 5** Obyvatelé Islandu jsou na sopky zvyklí a zajímají se o ně, o čemž svědčí i to, že při nedávném výbuchu jedné z nich došlo v této oblasti přímo k dopravnímu kolapsu. Lidé však od sopky neprchali, naopak – jeli se na novou sopku podívat. Kredit: Berserkur