

Bol štiavnický stratovulkán supervulkánom?

RNDr. Jaroslav Lexa, CSc., Ústav vied o Zemi SAV

Štiavnický stratovulkán označil za supervulkán kolega RNDr. Ladislav Šimon, PhD. zo Štátneho geologického ústavu D. Štúra v Bratislave vo videu nazvanom „Vulkanológ Ladislav Šimon predstavuje supervulkán Štiavnica“. Následne bolo toto označenie použité pre propagáciu turizmu v oblasti Banskej Štiavnice.

Na dotaz Slovenského banského múzea v Banskej Štiavnici ohľadne odôvodnenia takéhoto označenia Dr. Šimon v odpovedi uviedol, že termín supervulkán bol spopularizovaný v relácii BBC v roku 2000, v ktorej „Redaktori BBC jednoducho všetky stratovulkány ktoré prešli kalderovým vývojom nazvali supervulkány“. To následne pretavil do konštatovania, že stratovulkán s kalderovým vývojom možno považovať za supervulkán. V tomto zmysle potom aplikoval termín supervulkán aj na štiavnický stratovulkán, o ktorom je známe, že vo svojom vývoji prešiel štádiom subsidencie rozsiahlej kaldery (*Konečný, 1971; Konečný et al., 1998*). Ale v tom istom texte uvádza aj, že „Supervulkán musí mať VEI 8 (VEI 8 = vulkanický explozívny index číslo 8) a počas erupcie vyvrhol viac ako 1000 kilometrov kubických magmy“ ako aj, že termín štiavnický supervulkán používa na popularizáciu stratovulkánu pre verejnosť a že v odborných textoch používa zavedený termín štiavnický stratovulkán.

Domnievam sa, že dr. Šimon zle pochopil uvedenú reláciu v tom, že kaldery, ktoré asociujú s mohutnými explozívnymi erupciami VEI=8 sú rozhodujúcim kritériom pre označenie vulkánov za supervulkány. Ale ako je zrejmé aj zo stručného prepisu relácie BBC, **rozhodujúcim kritériom sú mohutné explózie s enormným množstvom pyroklastických uloženín, ktorých sprievodným javom je subsidencia kaldery**. Avšak nie s každou kalderou sú spojené takéto erupcie. A to je aj prípad štiavnického stratovulkánu, keď subsidencia kaldery nebola spojená s mohutnejšou explozívnou erupciou (*pozri nižšie*).

Supervulkány

Ako supervulkány označujeme tie plošne rozsiahle vulkány, ktoré boli alebo potenciálne sú miestom explozívných vulkanických erupcií s najvyšším možným vulkanickým explozívnym indexom (VEI) rovným 8 VEI je logaritmickou škálou, kde vyšší stupeň je desaťnásobkom predchádzajúceho a je odvodený od objemu tefry, ktorý daná explozívna erupcia vyprodukovala (ako tefru označujeme explóziou vyvrhnutý materiál (*Newhall et al. 1982*)).

VEI = 0 korešponduje neexplozívnymi erupciami s objemom tefry < 10 000 m³, VEI = 8 korešponduje najmohutnejšími explozívnymi erupciami s objemom tefry > 1 000 km³. Explozívnymi erupciami s VEI = 7 a 8 odpovedá tiež adekvátna výška erupčného stĺpca, ktorá dosahuje až vyše 50 km a veľký rozsah územia bezprostredne postihnutý erupciou.

Mnohí vulkanológovia s termínom supervulkán nesúhlasia a miesto toho hovoria o vulkánoch so supererupciami – argumentom je, že predmetné vulkány boli vytvorené v rôznej miere aj erupciami s nižším explozívnym indexom.

Supervulkány sa nachádzajú najmä v oblasti konvergencie tektonických platní – kontinentálnych okrajoch a vyvinutých ostrovných oblúkov, zriedkavo v oblasti riftov a v spojení s takzvanou „horúcou škvrnou“ (Yellowstone) podmienenou lokálnym výstupom plášťových hmôt. V období posledných 35 miliónov rokov bolo identifikovaných 46 explozívnych vulkanických erupcií s VEI = 8 na 43 supervulkánoch. S ohľadom na to, že časový interval až vyše 1 mil. rokov medzi dvomi erupciami s VEI = 8 na jednom supervulkáne, respektíve na ojedinelý výskyt takýchto erupcií na supervulkánoch s prevahou explozívnych erupcií s VEI = 6 – 7, nie je ľahké rozhodnúť, ktoré vulkány je možné považovať za aktívne supervulkány. Ak uvážime, že v priebehu posledného milióna rokov prebehlo 8 explozívnych erupcií s VEI = 8 a 88 erupcií s VEI = 7 na vulkánoch, z ktorých časť môžeme považovať za potenciálne supervulkány, celkový počet aktívnych a potencionálnych supervulkánov je možné odhadnúť na 10 – 20 a priemerný časový interval medzi mohutnými explozívnymi erupciami s VEI = 8 na 50 000 – 100 000 rokov.

Supervulkánmi s najmladšími takýmito explozívnymi erupciami sú Toba kaldera na Sumatre pred 75 000 rokmi (ktorá je aj najmohutnejšou známou explozívnou erupciou s objemom erupčovej magmy podľa rôznych odhadov medzi 2 800 – 13 200 km³, Aira kaldera v Japonsku pred 30 000 rokmi a Taupo kaldera na Novom Zélande pred 26 500 rokmi. Najznámejším supervulkánom je Yellowstone caldera s explozívnymi erupciami VEI = 8 pred 2,1 mil. rokov, 1,3 mil. rokov a 640 tisícmi rokov. V Európe sú potenciálnym supervulkánom Flegrejské polia pri Neapole v Taliansku, ktoré majú históriu explozívnych erupcií s VEI = 7 pred 315 000, 205 000, 39 850 a 15 700 rokmi.

Pre supervulkány sú charakteristické mohutné explozívne erupcie takzvaného „ultraplinian-skeho typu“ (Cioni *et al.* 2000). Pri týchto erupciách tlak vodou saturovanej magmy (obsah vody rozpustenej za vysokého tlaku v SiO₂-bohatej silikátovej tavenine je okolo 5 – 6 hmotnostných %), nazhromaždenej v magmatickom rezervári zvyčajne v hĺbke 5 – 10 km prekoná pevnosť zemskej kôry v nadloží a prerazí si cestu na povrch (Wotzlaw *et al.*, 2014). Zodpovedajúce zníženie tlaku spôsobí zníženie rozpustnosti vody v silikátovej tavenine a jej oddelenie do samostatnej fázy vo forme expandujúcich bublín. Para v bublinkách expandujúca postupne až na 1000-násobný objem je motorom explozívnej erupcie, ktorá udeľuje erupčujúcej zmesi na častice roztrhanej lávy a expandujúcej pary až supersonickú rýchlosť. V priebehu hodín až dní, niekedy v niekoľkých pulzoch, sa magmatický rezervoár vyprázdňuje ako fľaša otvoreného teplého šumivého vína, nadložie magmatického rezervoáru sa prepadá do uvoľneného priestoru a na povrchu vzniká kruhová alebo oválna prepadlina, ktorú nazývame kalderou. Supersonickou rýchlosťou vyvrhnutý materiál vytvára erupčný stĺp, ktorý pri erupciách s VEI = 7 – 8 dosahuje výšku až 50 km a preniká vysoko do stratosféry (Carey *et al.*, 2000).

Ďalší osud vyvrhnutého materiálu (zmes pary, pemzy a popola) je dvojaký: jeho podstatná časť pri poklese teploty nadobudne väčšiu hustotu ako okolitá atmosféra a v dôsledku gravitácie klesá a následne sa vo vlnách šíri do okolia vo forme pyroklastických prúdov až do vzdialenosti desiatok kilometrov. Tefra (pemza a popol) sa ukladá v hrúbke až niekoľko stoviek metrov, pričom v dôsledku vysokej teploty sa zväzuje do pevnej horniny, ktorú nazývame ignimbritom. Ako

príklad môžeme uviesť supererupciu kaldery La Garita v Colorade, USA, pred 28 mil. rokov, ktorej uloženiny pyroklastických prúdov pokryli územie o rozlohe 28 000 km² pri priemernej hrúbke okolo 100 m. Druhá časť materiálu (najmä popol a prach) zostáva vo vznose v turbulentných popolových oblakoch a laterálne sa rozširuje najmä v hornej časti troposféry a spodnej časti stratosféry, pri čom migrácia popolových oblakov je ovplyvnená prevládajúcim výškovým vetrom. S klesajúcou turbulenciou pevné častice z popolových oblakov postupne vypadávajú a na povrchu vytvárajú pokrov tefry, ktorej zrnitosť a hrúbka klesajú s narastajúcou vzdialenosťou.

Hrúbka tufov (konsolidovaná tefra) Yellowstone kaldery dosahuje v jej širšom okolí rádovo metre a v menšej hrúbke pokrývajú celú západnú polovicu USA. Vrstva popola korešpondujúca k doteraz najmohutnejšej explozívnej erupcii supervulkánu Toba v Indonézii vystupuje v hrúbke okolo 15 cm v celej južnej Ázii, Indickom oceáne, Arabskom mori a v Juhočínskom mori. Najjemnejší prach zostáva v stratosfére roky. Po erupcii VEI = 7 vulkánu Tambora v Indonézii v roku 1815 jemný prach zotrval v stratosfére vo výške 10 – 30 km viac ako rok. I keď voda je dominantným fluidom rozpusteným v magme, v menšom množstve sú prítomné aj CO₂ a SO₂. Súčasne s jemným prachom sa do stratosféry dostanú aj miliardy ton SO₂, ktorý v reakcii vodnou parou vytvára areosol kyseliny sírovej. Jemný prach a areosol kyseliny sírovej v stratosfére absorbujú časť slnečnej energie, čo sa prejavuje na zemskom povrchu ochladením. Rok 1816 po erupcii vulkánu Tambora je známy ako „rok bez leta“. VEI =6 erupcia vulkánu Pinatubo v roku 1991 vyvolala pokles globálnej teploty o 0,53 °C po dobu troch rokov.

Štiavnický stratovulkán

Štiavnický stratovulkán je najväčším s pomedzi tret'ohorných vulkánov karpatského oblúka a panónskeho bazénu (Lexa et al., 2010). Základné aspekty jeho stavby a vývoja v piatich štádiách opísal Konečný (1971). Detailná charakteristika jeho stavby a vývoja na základe 20-tich rokov spoločného geologického mapovania v mierke 1:25000 (a 1:10000 v jeho centrálnej zóne) je obsiahnutá vo vysvetlivkách k publikovanej geologickej mape v mierke 1:50000 (Konečný et al., 1998). Následne bol jeho vývoj v čase spresnený izotopovým datovaním (Chernyshev et al., 2013; Lexa et al., 2019).

Štiavnický stratovulkán sa vyvíjal v piatich etapách:

V prvej etape (15,0 – 13,6 Ma) bol sformovaný rozsiahly stratovulkán pyroxénických a amfibolicko-pyroxénických andezitov. Na stratovulôkanickej stavbe sa variabilne podielali lávové prúdy, extruzívne dómy, napadané pyroklastiká, uloženiny pyroklastických prúdov a uloženiny epiklastických vulkanických brekcií, ktoré v distálnej zóne prechádzali do akumulácie epiklastických vulkanických konglomerátov a pieskocov.

V druhej etape (13,6 – 12,95 Ma) došlo k rozsiahlej denudácii stratovulkánu a umiestneniu subvulkanických intruzívnych telies granodioritu, kremeno-dioritových porfýrov a granodioritových porfýrov.

V tretej etape (okolo 13,9 Ma) poklesla štiavnická kaldera priemeru zhruba 20 km a bola vyplnená komplexom extruzívnych dómov, lávových prúdov, pyroklastických prúdov

a hrubých epiklastických vulkanických brekcií diferencovaných biotitko-amfibolických andezitov v hrúbke okolo 500 m. Lokálne prenikli lávové prúdy a epiklastiká tejto etapy aj na svahy stratovulkánu, kde vyplnili radiálne orientované paleoúdolia.

V štvrtej etape (12,8 – 12,2 Ma) bola obnovená aktivita nediferencovaných pyroxénických andezitov a menej diferencovaných amfibolicko-pyroxénických andezitov, ktorá vytvorila rad menších vulkánov a plošných pokrovov so stratovulkanickou stavbou v kaldere a na svahoch stratovulkánu. Súčasťou tejto etapy boli aj menšie erupcie plínijského typu, ktoré vytvorili uloženiny pemzových tufov a ignimbritov plošne obmedzeného rozsahu.

Pre piatu etapu (12,2 – 11,4 Ma) je charakteristická aktivita ryolitov, ktorá sprevádzala výzdvih resurgentnej hraste v centre kaldery a pokles Žiarskej kotliny. Rozsiahla hydrotermálne aktivita spojená s touto etapou uložila na zlomoch resurgentnej hraste žily drahokovovej a polymetalickej mineralizácie, ktorých ťažba preslávila Banskú štiavnicu a Banskú Hodrušu.

Pri geologickom mapovaní sme nezistili uloženiny pemzových tufov a ignembritov, ktoré by korešpondovali explozívnym erupciám rangú VEI = 7 – 8. Identifikované uloženiny tohto typu len výnimočne prekročili VEI=5 (1 – 10 km³ magmy) a rozhodne neprekročili VEI=6 (objem eruptujúcej magmy viac ako 10 km³). Štiavnická kaldera je dominantne vyplnená produktami extruzívnej vulkanickej aktivity a jej subsidencia nebola spravádzaná explozívnou aktivitou vyššej inezity.

Záver

Z toho, čo poznáme o štiavnickom stratovulkáne vyplýva, že jeho erupcie len výnimočne prekročili VEI=5 (1 – 10 km³ magmy) a rozhodne neprekročili VEI=6 (objem eruptujúcej magmy 10 – 100 km³). Štiavnický stratovulkán s priemerom okolo 50 km a relatívnou výškou v prvej etape okolo 4 000 m bol najmohutnejším v karpatsko-panónskom regióne. Celkový objem jeho produktov predstavuje tisíce km³, má rozsiahlu kalderu, ale nemožno ho klasifikovať ako supervulkán, lebo žiadna z jeho erupcií ani z ďaleka nedosiahla požadovaný VEI=8.

Jeho pozoruhodnosťou je však rozsiahla mineralizácia spätá s jeho subvulkanickým intruzívnym komplexom a výzdvihom resurgentnej hraste, ktorá má parametre takzvaných svetových ložísk. Ťažba drahokovových rúd a s tým spojený technický, vedecký a civilizačný pokrok vrátane rozvoja mesta sú tým, čo preslávilo Banskú štiavnicu. Banská štiavnica nepotrebuje lákať turistov na odborne nepodloženú rozprávku o supervulkáne.

Zdroje:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Supervolcano>

https://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_Explosivity_Index

<https://www.usgs.gov/volcanoes/yellowstone/questions-about-supervolcanoes>

<https://www.usgs.gov/news/personal-commentary-why-i-dislike-term-supervolcano-and-what-we-should-be-saying-instead>

https://en.wikipedia.org/wiki/Toba_catastrophe_theory

https://en.wikipedia.org/wiki/1815_eruption_of_Mount_Tambora

https://en.wikipedia.org/wiki/La_Garita_Caldera

https://en.wikipedia.org/wiki/Yellowstone_Caldera

Bryan, S.E. (2010). "The largest volcanic eruptions on Earth" *Earth-Science Reviews*. **102** (3–4): 207–229.

Cioni, R., Marianelli, P., Santacroce, R. and Sbrana, A., 2000: Plinian and subplinian eruptions. In: Sigudsson et al. (Eds.) *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, p. 477 – 494.

Carey, S. and Bursik, M., 2000: Volcanic Plumes. In: Sigudsson et al. (Eds.) *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, p. 527 – 544.

Chernyshev IV, Konečný V, Lexa J, Kovalenker VA, Jeleň S, Lebedev VA, Goltzman YV (2013) K-Ar and Rb-Sr geochronology and evolution of the Štiavnica stratovolcano (central Slovakia). *Geol Carp* 64,327-360.

Konečný V. 1971: Evolutionary stages of the Banská Štiavnica Caldera and its post- volcanic structures. *Bull. Volcanology* XXXV, 95-116.

Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Miháliková, A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Lisčák, P., Žáková, E., 1998: Vysvetlivky ku geologickej mapy Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (Štiavnický stratovulkán) I, II. *Geologická služba SR*, Bratislava, 1-473.

Lexa, J., Seghedi, I., Németh, K., Szakács, A., Konečný, V., Pécskay, Z., Fülöp, A., Kovács, M., 2010. Neogene-Quaternary volcanic forms in the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Open Geos* 2, 207–270

Lexa J, Rottier B, Yi K, Audétat A, Broska I, Koděra P, Kohút M 2019:Magmatic evolution of the Štiavnica volcano. *Proceeding of the GEOLOGICA CARPATHICA 70 international conference*, 5p.

Newhall, Christopher G.; Self, Stephen 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism" (PDF). *Journal of Geophysical Research*. **87** (C2): 1231–1238

Wotzlaw, Jörn-Frederik; Bindeman, Ilya N.; Watts, Kathryn E.; Schmitt, Axel K.; Caricchi, Luca; Schaltegger, Urs 2014: "Linking rapid magma reservoir assembly and eruption trigger mechanisms at evolved Yellowstone-type supervolcanoes". *Geology*. **42** (9): 807–810.

<https://www.usgs.gov/news/personal-commentary-why-i-dislike-term-supervolcano-and-what-we-should-be-saying-instead>

