

EGY VULKÁN, AMELY MEGRENGETTE A VILÁGOT 200 ÉVE TÖRT KI A TAMBORA

Harangi Szabolcs

az MTA doktora, tanszékvezető egyetemi tanár,
MTA–ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport, ELTE Közvetlen-Geokémiai Tanszék
szabolcs.harangi@geology.elte.hu

Fagyos és nedves 1810-es évek

Az 1800-as évek eleje Európában kemény megpróbáltatásokat hozott. Még tartott az évszázadokat átívelő „kis jégkorszak” szokatlanul hideg éghajlata, miközben kitört a napóleoni háború. Napóleon a vesztes lipcsei csata után Elba szigetére kényszerült, ahonnan 1815-ben tért haza. A franciák lelkesen fogadták, a háború újrakezdődött. 1815. június 16-án a szembenálló felek Waterloo mezején gyülekeztek. A sorsdöntő ütközetben Napóleon vereségének számos oka volt. Hozzájárultak ehhez a császár taktikai hibái, az elkapkodva kiadott parancsok. Napóleont az időjárás sem segítette. A csata előtti este hatalmas vihar tört ki, az eső teljesen feláztatta a talajt, amiben elakadtak a sereg félelmetes ágyúi. A katonák, a lovasok is küzdöttek a sárral. Napóleon megsemmisítő vereséget szenvedett, ami után Szent Ilona szigetére száműzték, és ott halt meg 1821-ben. A hatalmas esők, félelmetes viharok azonban folytatódtak, pusztították a termést, és ezzel tovább súlyosbították a helyzetet. Ezt követte egy olyan év, amikor minden borult, minden másképpen történt (Luterbacher – Pfister,

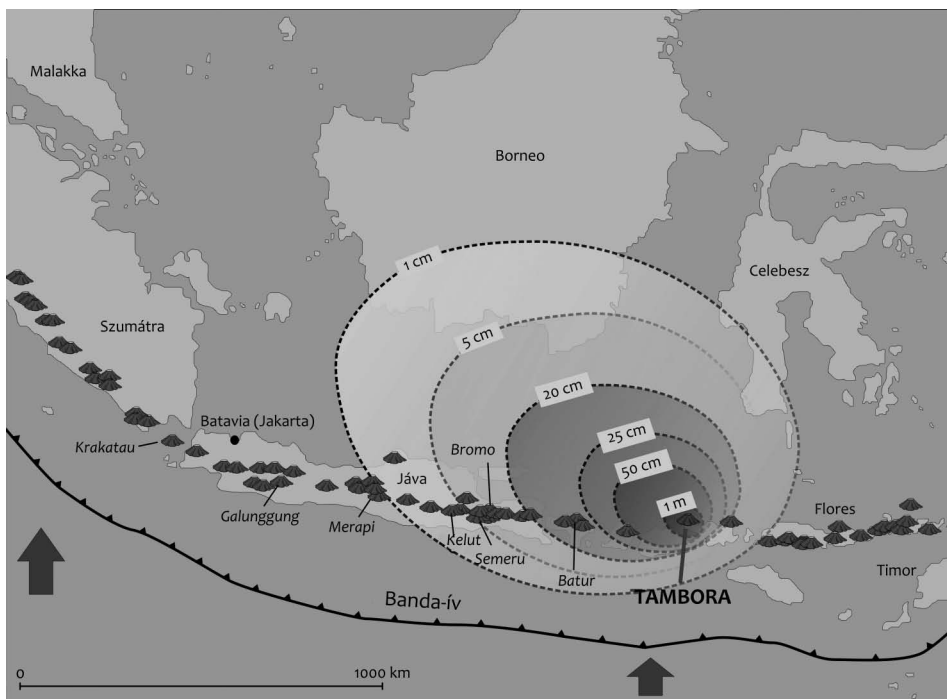
2015). A tél még a szokottnál is hidegebb volt, óriási hóviharak voltak, és még áprilisban is havazott. A nyár egyszerűen nem jött el, júliusban is fagyott, jégviharak dübörögtek, és csak esett és esett. 1816-ot Észak-Amerikában „nyár nélküli évnek” nevezték el, *John Prost* történész pedig az 1810-es évek második felét a nyugati világ utolsó nagy létfenntartási válságaként jellemezte. 1815 nyaratól néhány éven keresztül úgy tűnt, hogy végképp megbolondult az időjárás, és ez komoly termés kiesést és éhínséget okozott. Svájcban füvet ettek az emberek, Magyarországon sokan makkból, illetve fakéregből készített lisztből sütöttek kenyeret.

Mi okozta?

A hirtelen zorddá vált időjárás okát a legtöbben egyszerűen istencsapásnak tartották, tudományos magyarázat minderre akkor nem volt. Néhány tudós, mint például *Ernst Chladni* arra gyanakodott, hogy nagy tömegű jég vált le a sarki területről, és sodródott dél felé, az állandó nyugatias szelek pedig innen hideget és jelentős csapadékot szállítottak Európa felé. Akkor még nem alakult ki a meteorológia tudománya, míg a csilla-

gászati megfigyeléseknek már volt hagyományuk. Nem meglepő, hogy erősebb volt az a vélemény, miszerint napfolttevékenység okozhatta a furcsa klimatikus viszonyokat. Akkor senki sem gondolt arra, hogy az ok egy távoli tűzhányó kitörése volt, Európától vagy tízezer kilométerre. Ez csak a Krakatau 1883-as, majd az alaskai Novarupta 1912-es kitörése után merült fel először, mégpedig *William Jackson Humphreys* fizikus volt az, aki 1913 júniusában azt fejtette ki, hogy a vulkánkitörések során a légkörbe jutó hamuszemcsék „inverz üvegházhatást” fejtenek ki, és lehűlést okoznak. Ezzel magyarázta az eljegesedés okát is, és elsőként vetette fel, hogy a Tambora 1815-ös kitörése járulhatott hozzá az 1810-es évek második felében tapasztalt, a korábbiak-

nál is hidegebb és csapadékosabb időjáráshoz. *Hubert Lamb* az 1970-es években már a történelmi időkben zajlott számos vulkánkitörés klimatikus hatását elemezte, és ő is a légkörbe került nagy mennyiségű vulkáni hamuval magyarázta a kapcsolódó hőmérséklet-viszszáesést (Lamb, 1970). E kérdésben a fordulatot a mexikói El Chichon vulkán 1982-es kitörése hozta. Ekkor figyelték meg, hogy a légkörbe jelentős mennyiségű kén-dioxid-gáz került, ami kénsav-aeroszollá alakult, és ez a sztratoszférában elterülve visszaverte a Nap sugarait. Nem sokkal később, a fülöp-szigeteki Pinatubo 1991-es hatalmas kitörése során már műholdas eszközökkel dokumentálták a kénsavas aeroszolfelhőt a magas légrétegekben, és mutatták ki a kitörést követő években



I. ábra • A Tambora vulkán elhelyezkedése, és a Haraldur Sigurdsson és Steven Carey (1989) által rekonstruált, az 1815. áprilisi kitörést követő hamuhullás által érintett terület a lerakódott üledék vastagságával (centiméterben megadva).

a néhány tized fokos globális hőmérséklet-csökkenést. Ezzel indult el a vulkánkitörések klimatikus hatásának robbanásszerű kutatása, ami jelenleg is a tudományos vizsgálatok frontvonalában van (Harangi, 2013). Ezekben a vizsgálatokban pedig egyre nagyobb szerepet kap mint kiemelt esettanulmány a Tambora kétszáz évvel ezelőtti kitörése és annak a globális éghajlatra kifejtett hatása. 2015. április 7-10. között vulkanológusok, éghajlatkutatók, történelmi környezettannal foglalkozó szakemberek gyűltek össze a svájci Bernben, hogy a hatalmas kitörés 200. évfordulója alkalmából összegezzék az ismereteket. Az ott elhangzott főbb megállapításokról a jelen munka szerzője tájékoztatót a Tűzhányó blog (URL) bejegyzéseiben.

Egy inaktívnak vélt tűzhányó kitör

A Tambora tűzhányó az indonéz szigetvilág keleti felén található, a Flores-tengerrel körülvett Sumbawa szigetén, a Sanggar-félszigeten (1. ábra). A területen fejlett kereskedelmet folytató nép élt, akik nem gondolták a feletük közel 4300 méterre magasodó hegyről, hogy aktív tűzhányó. Nem volt erre semmi információ, nem is lehetett, hiszen jelen ismereteink szerint bizonyos, hogy legalább ezer éve nem tört ki, sőt egyes adatok szerint több mint négyezer éve volt az addigi utolsó kitörése. A talaj viszont termékeny volt körülötte, ami hívogató volt több mint tízezer ember letelepedésére. A kitörésre utaló első jelek már 1812-ben felbukkantak. Egyre több földrengés rázta meg a környéket, de ezek sem nyugtalanították az embereket, hiszen az ilyen esemény nem ritka ebben a térségben. Később már kisebb-nagyobb robbanásos kitörések is zajlottak, amelyeket az emberek már némi félelemmel fogadtak, és az istenek figyelmeztető jeleinek gondolták. Magát a

hegyet amúgy is misztikus történetek övezték. A név is ezt sejteti: *ta* és *mbora* – „jössz és tűnj el”. A Tambora megmásítása ezért mindig rituális szertartás szerint zajlott.

1815. április 5-én este hét órakor hirtelen minden megváltozott (Self et al., 1984; Sigurdsson – Carey, 1989; Oppenheimer, 2003). Több mint 25 km magasra emelkedett a vulkáni hamufelhő egy olyan hatalmas robbanás hangja mellett, amit még az akkori Batáviában, a mai Jakartában is tisztán hallottak, 1200 km távolságban! Két órán keresztül zajlott a kitörés, ami sűrű vulkáni hamulepel borította be a félszigetet. Aztán minden elcsendesült, és az ott élők azt gondolhatták, hogy ezzel vége a váratlanul jött kataklizmának. Elkezdtek letakarítani a vulkáni hamuüledéket házaikról, földjeikről, hogy folytatódjon a megszokott élet. Senki nem gondolta volna, hogy ezzel még nem fejeződött be a vulkán működése. Április 10-én este, egy még hatalmasabb robbanás rázta meg a hegyet, és most már közel 40 km magasságba tornyosult a vulkáni hamufelhő. Három óra múlva ez a kitörési felhő a saját tömege alatt hirtelen összeomlott, és a szemtanúk szerint heves „forgószerű” alakult ki, ami mindent elsodort. Valójában ez a vulkán lejtőin nagy sebességgel lezúduló piroklaszt-ár volt, azaz forró gázokkal telített vulkánitörmelék-ár. Ahogy bezúdult a tengerbe, szökőár indult el és söpört végig a partvidéken még több mint 1000 km távolságban is! A félszigeten nem sokan éltek túl ezt az eseményt, a mintegy tizenkétezer ember pillanatok alatt a romboló piroklaszt-ár áldozata lett. A néhány éve megindult ásatások több méter vastag vulkáni hamuréteg alatt tárják fel „Tambora elveszett királyságának” Pompeji-szerűen megőrződött maradványait, az egykor gazdag kultúra nyoma- it, az emberek utolsó testtartásukban meg-

maradt csontvázait (2. *ábra*). Az elpusztult termés miatt csak a közvetlen környezetben további, mintegy hatvanezer ember esett a vulkánkitörés áldozatául. A vulkáni hamu több napon keresztül hullott, és 500 ezer négyzetkilométer területet fedett be. Három napig nem kelt fel a nap, a folyamatos sötétség rémisztő volt, mintha eljött volna a világvége. A kitörés következményeként az egykor 4000 méter fölé magasodott hegy alaposan megcsonkult, felső része beszakadt. Mai magassága 2850 méter, és tetején egy 7 km széles és 1,2 km mély kaldera található (3. *ábra*).

A vulkánkitörés során mintegy 35 köbkilométer mennyiségű magma jutott a felszínre, ami hozzávetőleg megegyezik a kaldera méretével, utalva arra, hogy valóban a kiüresedett magmakamra okozta a felette lévő kőzetestek beszakadását. Ez az óriási mennyiségű magma összességében 120–150 köbkilométer térfogatú vulkáni anyagot eredménye-

zett (a kirobbanó, felfújtt magmahab megszárdult képződménye, a horzsakő, aminek térfogata több mint háromszorosa a megfelelő magma térfogatának). Ez azt jelenti, hogy a kitörés nagysága a VEI robbanásossági skálán elérte a 7-es fokozatot, és ezzel a történelmi idők legnagyobb ismert vulkáni működése. A kitöréshez kapcsolódó globális éghajlatváltozásért azonban nem ez az óriási, levegőbe került vulkáni hamutömeg volt a felelős! A kitörő magmával 55 millió tonna kén-dioxid jutott a légkörbe, és mivel a vulkáni hamufelhő a sztratoszférát is elérte, így jórészt a magasabb légrétegekbe került. A kén-dioxid a vízgőzzel reagálva kénsav-aeroszollá alakult, ami azt jelenti, hogy több mint 100 millió tonna kénsav-aeroszol anyag terült szét a sztratoszférában. Néhány óra alatt ekkora gáztömeg – vajon mit is jelent ez? Európa teljes ipari kén-dioxid-kibocsátása 14 ezer tonna naponként, azaz a Tambora kitörése során néhány



2. *ábra* • Az ásások során 2–3 m vastag vulkáni hamuüledék alatt feltárultak „Tambora elvesztett királyságának” maradványai; akárcsak Pompejiben, itt is épen maradt házfalak, az utolsó pillanat testtartásában lévő emberek tetemei és sok eszköz került elő (fotó: Indyo Pratomo).



3. ábra • A Tambora hatalmas, égbe nyíló szája, a vulkánkitörést követően visszamaradt széles kaldera részlete (fotó: Katie Preece, University of East Anglia)

óra alatt több kén-dioxid zúdult a légterbe, mint Európában tíz év alatt! A Föld globális kén-dioxid-kibocsátása a 2006-os igen magas szennyezési időszakban sem érte el a 33 millió tonnát! A magaslégtérben lévő kénsavaeroszol-felhő visszaveri a Nap sugarait, és elnyeli a Földről érkező infravörös sugárzást, aminek az eredménye egyrészt az, hogy a földfelszín hőmérséklete lecsökken, a sztratoszféra viszont felmelegszik, ami alaposan megváltoztatja a magasban zajló légközést, és többek között befolyásolja a monszont is. Egy trópusi területen bekövetkező ilyen nagyságú vulkánkitörés következményei pedig már globálisak. Ez a hatalmas kén-dioxid-kibocsátás járult hozzá az 1816-as „nyár nélküli évhez”, az 1810-es évek második felének anomális időjárásához, amikor a globális átlaghőmérséklet több mint 1°C-kal csökkent.

Drámai évek a Kárpát-medencében

A Tambora kitörése után az északi féltekén bekövetkezett katasztrofális hatások térségünket sem kerültkék el. Európában a nyugati területeken, így a Brit-szigeteken, Franciaországban, de különösen Svájcban drámai volt a helyzet 1815-1818-ban. A berni konferencián tudatosult sokakban, hogy Európában a Tambora kitörése következményeként az egyik legnagyobb mértékben sújtott terület a Kárpát-medence, Magyarország és környezete volt. Nem mondhatjuk azonban azt, hogy mindenért a távoli vulkánkitörés volt a felelős! Térségünk már az 1810-es évek elejétől sokat szenvedett a különösen hideg időjárás miatt. Az 1815 nyaratól megfigyelhető lényeges különbséget azonban az anomális időjárási jelenségek jelentették (Soós, 2010; Kiss,

2015). Az egyik legtöbbet idézett jelenség a barna hó volt, ami az aprószemcsés vulkáni hamuanyagnak a csapadékba való bekeveredésével magyarázható. 1815 decemberében hirtelen hatalmas hóvihár érkezett, aminek következményeként a szabadban lévő állatok jelentős része elpusztult. A zord tél nagyon elhúzódott, még 1816 áprilisában is jelentős havazások történtek, és mindennaposok voltak a fagyok. A különösen hűvös nyáron szinte folyamatosan esett az eső, gyakoriak voltak a villámlásokkal kísért viharok, a pusztító jégesők. Talán ez a borzalmas idő ihlette *Kisfaludy Károlyt* az 1820-as évek elején festett *Éjjeli szélvész* (URL₂) és *Tengeri vész* (URL₃) műveinek sötét tónusú alkotásában. A földek vízben álltak, egérinvázió dúlt, a termés nagy része elpusztult. Mindez többéves megpróbáltatás után egy legyengült, erősen érzékeny társadalmat érintett. A következményei pedig tragikusak voltak.

A folyamatos esők megárasztották a Tiszát, ami hat hónapra keresztül áradt. Nyár közepén az újabb hatalmas esők a Maroson is áradást okoztak, és mindez együtt Szegeden a Tisza egyik legnagyobb és legpusztítóbb árvizéhez vezetett (Kiss, 2015). Több mint 1500 ház dőlt ekkor össze. A termés pusztulása Magyarország egyik legsúlyosabb és leghosszabb éhínségét eredményezte. A legerősebben sújtott terület Erdély volt, ahol tízezrek haltak éhen. A szőlő sem érett be, az akkori feljegyzések szerint a borok ihatatlanok voltak. Horvátországban szintén drámai helyzet alakult ki (Kužić, 2007), ott tífuszjárvány is szedte az áldozatait. A társadalmi válasz térségünkben szerencsére alapvetően pozitív volt. A jobb sorsban élő földesurak elengedték az adó egy részét, több helyen ingyenesen osztottak ételt. Nem volt ez mindenhol így: Németországban és Angliában is súlyos éhség-

lázadások törtek ki, nemcsak a terméshiány nehezítette a helyzetet, hanem a hirtelen magasba szökő gabonaárak is. Angliában a littleporti és Ely vidéki összetűzések egyik jelmondata „kenyér vagy vér” volt.

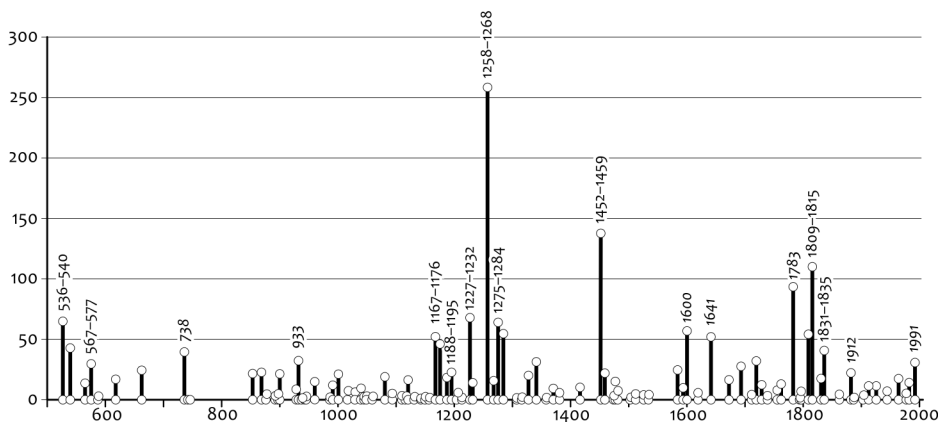
Mit hoz a jövő?

A Tambora kétszáz évvel ezelőtti kitörésének hatása sokáig nem volt ismert, és csak az elmúlt évtizedekben vált világossá, hogy globálisan befolyásolta az éghajlatot. Ma már az is egyértelműen elfogadott, hogy ezt a hatást a sztratoszférába juttatott hatalmas mennyiségű kén-dioxid-gáz okozta, ami kénsav-aeroszollá alakulva verte vissza a napsugarak egy részét. Ez az esemény az elmúlt években és különösen a mostani kerek évforduló kapcsán felkeltette a klímakutatást végző szakemberek figyelmét is. A berni Tambora-konferencián érzékelhető volt, hogy ez a vulkánkitörés egyfajta kiemelt esettanulmányként szerepelhet abban, hogy a klímaváltozási szimulációk, modellek esetében a légkörbe kerülő ilyen jelentős mennyiségű szennyezőanyag hatását pontosítani lehessen. Ez pedig már túlmutat magán a vulkáni működésen, és azt jelenti, hogy a Tambora-eset kulcsszerepet kap a klímamodellekben. Kiderült az is, hogy a vulkánkitörések hatása sokkal jelentősebb az éghajlat alakításában, mint azt korábban bármikor is gondolták, és ezt figyelembe kell venni a modellszámításokban. A konferencia példaértékűen hozta össze a különböző szakterületek vezető kutatóit, és megmutatta, hogy ezzel a tudásbázissal fontos üzenetek fogalmazhatóak meg a társadalom számára. Nem kérdés ugyanis, hogy lesz-e még nagy vulkánkitörés, ami a Tamborához hasonlóan évekig befolyásolja majd az éghajlatot, a kérdés csupán az, hogy ez mikor fog bekövetkezni!

A Tamborához mérhető nagy vulkánkitörések ismétlődési gyakoriságát 800–1500 évre teszik (Self – Gertisser, 2015), ami akár megnyugtatónak is tűnhet. Azonban, fontos hangsúlyozni, hogy ebben a statisztikai valószínűségi számolásban kritikus paraméter a kitörés nagyságának pontos meghatározása, továbbá az is, hogy mennyire tudjuk hasonlóképpen besorolni más nagy kitörések VEI-értékét. Egyelőre azt tudjuk mondani, hogy a történelmi idők legnagyobb ismert kitörése volt 1815-ben a Tamborán. Hozzá kell tennünk, hogy a Tambora kalderájához hasonló nagyságú a Sumbawa melletti Lombok szigetén található Rinjani. Azt korábban is tudtuk, hogy 1257–58-ban egy hatalmas kitörés történt valahol a Földön, azonban csak nemrég mutatták ki Franck Lavigne és munkatársai (2013), hogy ez a Rinjani vulkáni komplexumban lévő Salamas tűzhányó működéséhez kapcsolható. Bár ez a kitörés minden bizonnyal hasonló nagyságú volt a Tambora 1815-ös kitöréséhez, a pontos adatok még hiányoznak. Megközelíthetjük azonban úgy is a kérdést, hogy a jégfuratmintákban megőrzött kénsavanomáliák alapján igyekszünk meghatározni azt, hogy milyen gyakorisággal fordulnak elő éghajlat-módosító vulkánkitörések. Ebben az esetben fontos rámutatni arra is, hogy ekkor nem feltétlenül kell ismerni a vulkánkitörés helyét, és nem olyan kritikus paraméter a kitörés VEI-értéke sem, hiszen egy kisebb nagyságú kitörés során is kerülhet nagy mennyiségű kén-dioxid-gáz a levegőbe. Ez a kérdés természetesen szintén kulcsszerepet kapott a berni konferencián. Egyre nagyobb erőfeszítések vannak ugyanis arra, hogy a Grönlandon és az Antarktiszon mélyített fúrásokat nagyobb pontossággal lehessen összeilleszteni, és most már egyre robusztusabb adatsorral rendelkezünk az el-

múlt 1500 év eseményeiről. Ha ezt az adatsort nézzük, akkor azt tapasztaljuk, hogy ezalatt harmincegy olyan vulkáni esemény volt, amely egyenként több mint 20 millió tonna kénsav-aeroszolt eredményezett a sztratoszférában (Gao et al. 2008). Ez évszázadonként átlagosan két vulkánkitörés. A Fülöp-szigeteki Pinatubo 1991-es kitörését meghaladó mértékű szulfát-aeroszol mennyiség húsz vulkánkitörés során alakult ki, azaz átlagosan hetvenöt évenként történt ilyen. E vulkánkitörés kétszeresét, tehát már nagyobb mértékben, legalább 0,5°C-os globális átlaghőmérséklet-csökkenést eredményező kitörés pedig nagyjából kétszáz évente várható az eddigi adatok statisztikai értékelése alapján (4. ábra). Meg kell jegyezni azt is, hogy a jégfuratminták szulfátmennyisége alapján nem a Tambora vezeti a listát. Az elmúlt 1500 év adatsora alapján a Tambora 1815-ös kitörése csak a harmadik helyen áll. Ennél is nagyobb éghajlat-módosító hatása lehetett a Salamas 1258-ban történt és a Kuwae 1452-es kitörésének, és nem sokkal marad el tőle a Laki 1783-as kitörése sem, amelynek jól dokumentált az éghajlat-módosító következménye.

A berni konferencia egyik érdekes, új eredménye volt, hogy a jégfuratminták adatsorainak elemzése során kiderült, több alkalommal volt úgynevezett kettős vulkánkitörés, amikor két nagy vulkánkitörés tíz éven belül következett be. Úgy tűnik, és ezt korábban is hangsúlyoztuk, hogy a Tambora kitörésének éghajlat-módosító hatása már egy meggyengült társadalmat érintett. Sok helyen a lehűlés már néhány éve nehezítette az emberek életét. Nos, e korábbi lehűlésben nagy szerepet játszott egy másik vulkánkitörés, amely 1809-ben történt. A helye még nem ismert, friss adatok arra utalnak, hogy talán Dél-Amerikában lehet a tettes. A jégfuratmin-



4. ábra • A kénsav-aeroszol mennyisége ($T_g = 1,102$ millió tonna) évi bontásban grönlandi és antarktisi jégfuratok alapján (Gao et al. 2008 nyomán). Külön jelöltem a jelentős, páros vulkánkitörések évszámait, valamint az egyedüli nagy kitörések idejét (dőlt számok)

ták szulfátkoncentrációja alapján azonban vélemezhető, hogy nagysága meghaladhatta a Pinatubo 1991-es kitörését. Két ilyen nagy kitörés egymás után sokkal nagyobb hatást jelent, sokkal nagyobb mértékben zavarja meg a légköri cirkulációt, mint egyetlen nagy vulkánkitörés. Ismét elemezve az elmúlt 1500 év jégfurat-adatsorát, tíz esetben találunk ilyen, időben közel álló kettős vulkánkitörést, legutóbb 1831-ben és 1835-ben. A százötven éves ismétlődési gyakoriság alapján már korántsem bizakodhatunk abban, hogy messze van egy ilyen esemény, sőt!

Összefoglalva: a vulkáni működés klíma-befolyásoló hatásáról egyre többet tudunk. Az elmúlt években publikált új eredmények nagymértékben átformálták ismereteinket a globális kihatású vulkánkitörések ismétlődési gyakoriságáról. A vulkánkitörések nem követnek meghatározott matematikai trendet, de a tendenciákból világosan látszik, hogy egy globális kihatású vulkánkitörés erre az évszázadra jósolt 25–30%-os bekövetkezési valószínűsége egyáltalán nem túlzó, és nem félelem-

keltés annak felvetése, hogy ilyen eseményre bőven van esély a következő évtizedekben.

Záró gondolatok

A Tambora 1815-ös kitörésének 200. évfordulója jó alkalmat ad arra, hogy végiggondoljuk, hogy egy ilyen globális kihatású természeti esemény mivel járna a mai modern világunkban. Habár ma már jóval nagyobb eszköztárral és tudással rendelkezünk, hogy vulkánkitöréseket előre jelezzünk, azonban nem állunk sokkal jobban abban, hogy a társadalom mennyire felkészült egy általa váratlanul vélt természeti csapásra. Mindezt az Eyjafjallajökull viszonylag szerény ($VEI=3-4$) kitörésének megrendítő és több milliárd dollár anyagi veszteséget hozó kitörése egyértelműen példázza. Rámutat arra is, hogy a nagy vulkánkitörések és a globális kihatások mellett a jóval kisebb vulkánkitörések is komoly társadalmi gondokat okozhatnak. A 21. század kihívása, hogy a társadalmak miképpen tudnak felkészülni egy minden bizonnyal bekövetkező, potenciálisan katasztrofális ha-

tású vulkánkitörés következményeire. A Tambora kitörése nyomán dokumentált súlyos hatások a Kárpát-medencében, azt jelzik, hogy tennivaló, felmérnivaló a térségünkben is van bőven. Ismernünk, ismertetnünk kell minél szélesebb körben a vulkáni működés közeli és távoli hatásait, fel kell mérni a különböző nagyságú vulkánkitörések éghajlatmódosító hatását, és azt, hogy ez miképpen érinti a társadalmat. Fel kell mérni az országok élelmiszer-kereskedelmi függőségeit, az akár hosszú idejű légtérzárak következményeit, sőt a gazdasági, a tőzsdei kapcsolatokat és

a lehetséges egészségügyi problémákat is. Nem bújhatunk a mögé, hogy a modern társadalom technológiailag fejlettebb, mint bármikor korábban. Ezzel a sebezhetőség csak nőtt, akárcsak a népsűrűség, ami miatt az emberiség jóval inkább ki van téve a ritka, de potenciálisan katasztrófális következményekkel járó természeti eseményeknek. Most még időben vagyunk, az évfordulók tanulságai serkentő hatásúak lehetnek!

Kulcsszavak: *Tambora, vulkánkitörés, klimatikus hatás, jégfurat, nyár nélküli év*

IRODALOM

- Gao, Chaocao – Robock, A. – Ammann, C. (2008): Volcanic Forcing of Climate over the Past 1500 Years: An Improved Ice Core-based Index for Climate Models. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 113, D23111, DOI:10.1029/2008JD010239 • <http://onlinelibrary.wiley.com> • doi/10.1029/2008JD010239/full
- Harangi Szabolcs (2013): Merre tovább, vulkanológia? A 21. század kihívásai. *Magyar Tudomány*. 174, 959–979. • <http://www.matud.iif.hu/2013/08/09.htm>
- Kiss Andrea (2015): Before and After Tambora: Extreme Floods in the Mid-1810s in Hungary. *Geophysical Research Abstracts*. 17. EGU2015-13869.
- Kuzić, Kresimir (2007): The Impact of Two Volcano Eruptions on the Croatian Lands at the Beginning of the 19th Century. *Croatian Meteorological Journal*. 42, 15–39.
- Lamb, Hubert (1970): Volcanic Dust in the Atmosphere; With a Chronology and Assessment of Its Meteorological Significance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 266, 425–533. DOI: 10.1098/rsta.1970.0010
- Lavigne, Franck – Degeai, J. P. – Komorowski, J. C. – Guillet, S. – Lahitte, P. – Robert, V. – Oppenheimer, C. – Stoffel, M. – Vidal, C.M. – Surono, I. P. – Pratomo, I. – Wassmer, P. – Hajdas, I. – Hadmoko, D. S. – De Bélizal, E. (2013): Source of the Great AD 1257 Mystery Eruption Unveiled, Samalas Volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. 110, 16742–16747. DOI:10.1073/pnas.1307520110 • <http://www.pnas.org/content/110/42/16742.full.pdf>
- Luterbacher, Jürg – Pfister, Christian (2015): The Year Without a Summer. *Nature Geosciences*. 8, 246–248. DOI:10.1038/ngeo2404
- Oppenheimer, Clive (2003): Climatic, Environmental and Human Consequences of the Largest Known Historic Eruption: Tambora Volcano (Indonesia) 1815. *Progress in Physical Geography*. 27, 230–259. DOI: 10.1191/0309133303pp379ra
- Self, Stephen – Gertisser, Ralf (2015): Tying down Eruption Risk. *Nature Geosciences*. 8, 248–250. DOI:10.1038/ngeo2403
- Self, Stephen – Rampino, M. R. – Newton, M. S. – Wolff, J. A. (1984): Volcanological Study of the Great Tambora Eruption of 1815. *Geology*. 12, 659–663. DOI: 10.1130/0091-7613(1984)12<659:VSOTGT>2.0.CO;2
- Sigurdsson, Haraldur – Carey, Steven (1989): Plinian and Co-ignimbrite Tephra Fall from the 1815 Eruption of Tambora Volcano. *Bulletin of Volcanology*, 51, 243–270. DOI: 10.1007/BF01073515 • <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01073515>
- Soós, István (2010): „Nyár nélküli esztendő” 1816-ban. A Tambora vulkán kitörésének következménye. *História*. 24–27. • <http://www.historia.hu/userfiles/files/2010-04/Soos.pdf>
- URL1: Tűzhányó blog <http://tuzhanyo.blogspot.hu/>
URL2: Kisfaludy Károly: *Éjjeli szélvész* • <http://mek.oszk.hu/01900/01903/html/index788.html>
URL3: Kisfaludy Károly: *Tengeri vész* • <http://www.hung-art.hu/tajkepek/tengeri.jpg>