

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
Természetföldrajzi Tanszék

**A vulkánkitörések légkörre gyakorolt hatásai és
magyarországi észlelésük – a Tambora 1815-ös
kitörése**

Stépán Réka

Földrajz alapszak

Környezetföldrajz szakirány

Szakdolgozat

Témavezető:

dr. Karátson Dávid

egyetemi docens



Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. A vulkáni működés típusai.....	5
2.1. Effúzív vulkáni működés.....	5
2.2. Explozív vulkáni működés	6
3. A vulkánkitörések atmoszférában előidézett hatásai	6
3.1. Éghajlati elemekben okozott anomáliák.....	7
3.1.1. <i>Napfénytartam</i>	<i>8</i>
3.1.2. <i>Hőmérséklet</i>	<i>9</i>
3.1.3. <i>Csapadék.....</i>	<i>11</i>
3.1.4. <i>Általános légkörvzés.....</i>	<i>11</i>
3.2. Napsugarak szóródásában előidézett változások.....	12
3.2.1. <i>Az égbolt, a Nap és a Hold színváltozásai.....</i>	<i>13</i>
3.2.2. <i>Halojelenségek.....</i>	<i>14</i>
3.2.3. <i>Koszorújelenségek</i>	<i>16</i>
3.2.4. <i>Bishop-gyűrű.....</i>	<i>17</i>
3.2.5. <i>Világító felhők.....</i>	<i>18</i>
4. Esettanulmány: a Tambora 1815-ös kitörése.....	20
4.1. A kitörés menete	21
4.2. A kitörés nyomán fellépő szokatlan éghajlati-időjárású események és hatásuk a természeti, valamint a társadalmi-gazdasági környezetre	24

5. Összegzés.....	33
6. Irodalomjegyzék.....	34

1. Bevezetés

Egy, a jelenleg aktív tűzhányók területi elhelyezkedését bemutató térképet böngészve egy laikus számára is szembeötlő, hogy azok nem összevissza, hanem valamilyen szabályszerűséget követve helyezkednek el a Földön. Egyes területeken vulkáni kúpok sokasága emelkedik (rendszerint lemezhatárok környékén), míg máshol egyetlen aktív tűzhányót sem találunk. Ez utóbbira példa a Kárpát-medence területe. Működő tűzhányók nélkül az emberek többsége valószínűleg nem is gondolná, hogy hazánk vulkánkitörések által veszélyeztetett terület lenne. Azonban az Eyjafjallajökull jégmező alatt megbúvó izlandi tűzhányó 2010 tavaszán bekövetkezett kitörése is rámutatott arra, hogy egy-egy vulkánkitörésnek nem csak lokális, hanem nagyobb területeken jelentkező, esetenként globális méretű hatásai is lehetnek. Egy jelentősebb robbanásos vulkáni működés során ugyanis a kürtöből kijutó finomszemcsés anyagok akár a sztratoszféráig is feljuthatnak, ahol hosszabb időt eltöltve, illetve a Föld nagy térségeit átfogó futóáramlatok segítségével óriási távolságokra eljutva fejthetik ki hatásukat.

A szakdolgozat első felében általánosságban kívánom áttekinteni a vulkáni működés típusait, valamint azok atmoszférában előidézett hatásait. Kitérek az éghajlati elemekben okozott anomáliákra, ismertetve a Magyarországra vonatkozó általános tendenciákat, továbbá a tűzhányó-tevékenység során a légkörbe juttatott anyagoknak a napsugarak szóródását befolyásoló hatásaira, és az ezek következtében kialakuló fényjelenségekre. A második részben esettanulmányként a Tambora 1815-ös kitörése, valamint annak klimatikus és társadalmi hatásai kerülnek bemutatásra, nagy hangsúlyt fektetve a Kárpát-medencét is elért hatásokra.

2. A vulkáni működés típusai

A vulkáni működés jellegét alapvetően a magma fizikai és kémiai tulajdonságai határozzák meg. Ezek közül a két legfontosabb tényező a magma szilikáttartalma és viszkozitása, melyek egyenes arányban állnak egymással. Minél alacsonyabb a szilikáttartalom, annál kisebb a viszkozitás, és fordítva. Ebből következően elkülönítünk hígán folyós (kis viszkozitású), valamint kevésbé mozgékony (tehát nagy viszkozitású) lávákat.

A szilikáttartalom többé-kevésbé meghatározza továbbá a magmában oldott állapotban lévő gázok (H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , H_2 , CO , O_2 , S_2 , HCl , HF , HB , HI) mennyiségét és mozgékonyágát. Ennek a két tulajdonságnak fontos szerep jut az olvadék felszínre kerülésének kapcsán. A kitörés jellege alapján ugyanis beszélhetünk effúzív (lávaöntő) és explozív (robbanásos) vulkáni működésről, illetve vegyes működésről, amely lávát és vulkáni törmeléket egyaránt szolgáltat (Karátson, 1998). Az alábbiakban a lávaöntő és a robbanásos kitöréseket mutatom be röviden, mint a vulkáni tevékenység két alaptípusát.

2.1. Effúzív vulkáni működés

Lávaöntő vulkáni működés során a magma robbanás nélkül kerül a felszínre, mely a már előbb tárgyalt alacsony szilikáttartalomnak tudható be. Mivel kevés szilícium található az olvadékban, a kigázosodás során megjelenő buborékok szinte akadálytalanul képesek mozogni, ezáltal egyenletesen tudnak eltávozni a magmából. Éppen ezért bazaltos olvadékban a könnyenillók csak kis mennyiségben vannak jelen (kevesebb, mint 0,5 %).

Az előzőekből következően effúzív vulkáni tevékenység során a magma lávafolyások formájában kerül szét a felszínen. A lávaöntést időnként kisebb „robbanások” tarkítják, azonban ezek csupán a felszínre érkező buborékok szétpukkanása következtében kialakuló lávaszökőkutak (Karátson, 1998).

2.2. Explozív vulkáni működés

Explozív kitörések magasabb szilikáttartalmú magmák esetében fordulnak elő. Mivel – az előbbi típussal ellentétben – az olvadékban nagyobb mennyiségben van jelen szilícium, a buborékok mozgása sokkal nehezkesebbé válik. A buborékok feldúsulásával jelentősen megnőhet a magma belső nyomása (akár a légköri nyomás tíz-, százszorosára), ami egy ponton túl a kürtőben felfelé hatoló magma felszínének (ún. felszakadási felszínnek) a tulajdonképpeni felrobbanását idézi elő. A buborékok kirobbanása során felszabaduló energia a szétszaggatott magmát, illetve a buborékokban korábban közbezárt gázokat egészen nagy magasságba is fellövellheti. Az így keletkező kitörési oszlop magassága elérheti a több tíz km-t is. Az explozív vulkáni működések tehát nagy mennyiségű törmelékanyagot, illetve egyéb, gőz és gáz halmazállapotú anyagot szolgáltatnak. Ahogy azt a későbbiekben látni fogjuk, ezeknek a kitörési termékeknek meghatározó szerepük lehet a kitöréseket követően az éghajlati-időjárási körülményekben jelentkező rendellenességek kapcsán.

A robbanásos vulkánkitöréseken belül megkülönböztetünk magmás robbanásos, illetve freatomagmás, szélső esetben freatikus kitöréseket. Magmás robbanásos kitörésnél a folyamatok a magmában bekövetkező állapotváltozásokra (buborékosodás, fragmentáció) vezethetők vissza, míg a másik esetben a magma vízzel történő találkozása során keletkező mechanikai energia idézi elő a robbanást (Karátson, 1998).

3. A vulkánkitörések atmoszférában előidézett hatásai

Szokatlan időjárási-éghajlati események, melyeket akár egy-egy hevesebb vulkánkitörés is okozhatott, számos ősi kultúra mítoszaiban, mondáiban tetten érhetők. A mintegy 3600 éve bekövetkezett Szantorini-kitörés idején is rendhagyó jelenségekre lettek figyelmesek a Föld számos területén. Egyiptomot addig soha nem látott természeti csapások sújtották: több napos sötétség, jégesők pusztítása. Kínában szintén szokatlan eseményeket jegyeztek fel: sárgás köd ült a tájra, melyen a napsugarak alig tudtak áthatolni, továbbá a megszokottnál jóval hidegebb évek köszöntöttek be, emellett több alkalommal számoltak be júliusi fagyokról. A csapadék időbeli eloszlásában is

rendkívüli szélsőségeket tapasztaltak, hol szárazság, hol pedig heves esőzések szedték áldozataikat (Rampino et al., 1988; Harangi, 2010)

Az első érdemi megállapítások valamely vulkánkitörés és az időjárásban tapasztalható rendellenességek közti összefüggésekről azonban jóval később, az izlandi Laki vulkán 1783. június 8-ától 8 hónapon át tartó kitörése után láttak napvilágot. Mourgue de Montredon francia természettudós volt az első, aki a szokatlan európai időjárási helyzetet az izlandi vulkánkitörésnek tulajdonította. Szintén meg kell említeni Benjamin Franklin (amerikai feltaláló és tudós) nevét is, aki ez idő tájt párizsi nagykövetként vált az események szemlélőjévé. Véleménye szerint a kitörés során légkörbe került nagy mennyiségű vulkáni hamu tehető felelőssé az európai kontinensen sokfelé tapasztalható kékes színű száraz köd kialakulásáért, valamint a rendkívüli időjárási eseményekért. (Franklin azonban nem a Laki, hanem a Hekla kitörését feltételezte.) Ezt a megállapítást évtizedeken át helyesnek vélték. Ám a Laki kitörését követő majdnem pontosan 200 évvel későbbi kitörés, a mexikói El Chichón vulkán 1982-es működése új alapokra helyezte ezt az elgondolást. A kutatások arra az eredményre vezettek, hogy nem a vulkáni hamu, hanem a vulkáni gázok, elsősorban a kén-dioxid az, amely kellő mennyiségben, kellő magasságba feljutva jelentős anomáliákat idézhet elő az éghajlati viszonyokban (Rampino et al., 1988; Harangi, 2008; CAS; USGS/a).

3.1. Az éghajlati elemekben okozott anomáliák

„A Föld légköre gázok, aeroszolok és egyéb szemcsék elegye, amelyek kényes és dinamikus egyensúlyt alkotnak” (Harangi, 2010). Ha a légkör kémiai összetételében változás áll be, az maga után vonja ennek a dinamikus egyensúlynak a megbomlását, ez pedig nagyobb területek, vagy akár az egész Föld éghajlatára is kihatással lehet. Az éghajlat módosulása egyszerűsített az időjárási elemek idő- és térbeli eloszlásának változását is jelenti. Azt, hogy a kitörések meteorológiai hatásai milyen intenzitással és mennyi ideig jelentkeznek, tulajdonképpen három tényező határozza meg: a kitörés erőssége, a vulkán földrajzi elhelyezkedése, valamint a kibocsátott anyag kémiai összetétele és viselkedése. A kitörés erőssége, intenzitása nem csak a felszínre juttatott

anyag mennyiségét, hanem annak elterjedését is, vízszintes és függőleges értelemben egyaránt, merőben befolyásolja. Utóbbi szempontjából fontos kérdés az is, hogy a tűzhányó a Föld mely részén helyezkedik el. A troposzféra felső határa ugyanis nem azonos magasságban található az Egyenlítő területén (18 kilométer körül), és a pólusok felett (itt mindössze 8 kilométer magasan húzódik). Ebből következően egy mérsékelt heves robbanásos kitörés során keletkező 9 kilométer magasságú kitörési felhő az Egyenlítő közelében a troposzféra felső határa alatt marad, ezzel szemben a sarkokhoz közeli területeken a sztratoszférát is elérheti, ahol sokkal hosszabb ideig elidőznek a bekerülő anyagok. Ez pedig alapvetően meghatározza a kitöréseket követően jelentkező klimatikus hatások mikéntjét. Az előbb említettek mellett a földrajzi fekvéssel a regionális, illetve a globális szél- és időjárási körülmények is változnak, amelyek szintén nem elhanyagolhatóak egy nagyobb méretű kitörés kapcsán. A harmadik tényező (a kibocsátott anyag kémiai összetétele és viselkedése) szintén kulcsfontosságú a kitörés utáni időszakban jelentkező hatások szempontjából (Papp, 2001; Thomas, 2004; Harangi, 2010; USGS/a).

Ezek után vizsgáljuk meg, hogy egy jelentősebb kitörés kapcsán milyen változások tapasztalhatók az egyes éghajlati-időjárási elemekben.

3.1.1. Napfénytartam

Egy-egy nagy vulkánkitörés alkalmával különféle gőzök és gázok kerülhetnek az atmoszférába, melyek közül a legfontosabbak a vízgőz (a vulkáni gázok kb. 80 %-a), a szén-dioxid (kb. 10 %), a kén-dioxid (kb. 5 %) és a kénhidrogén (kb. 1 %). Ezeken kívül – ahogy azt a 2. pontban már ismertettem – még számos más kémiai elem, vegyület kerülhet a légkörbe. Ezek mennyisége azonban nem haladja meg az 1 %-ot.

A troposzférában előforduló aeroszolok átlagos optikai vastagságát esetenként jelentős mértékben meghaladhatja a tűzhányó-tevékenység során légkörbe juttatott aeroszolok optikai vastagsága, mélysége¹. Ez arra utal, hogy az átlagosnál jóval több aeroszol található a légkör ezen tartományában. Minél nagyobb az optikai mélység egy

¹ Optikai mélység: egy dimenziótlán fizikai mennyiség, amely egy adott közegben jelenlévő gázok és aeroszolok sugárzásgyengítő hatását fejezi ki (Magyar Űrkutatási Iroda).

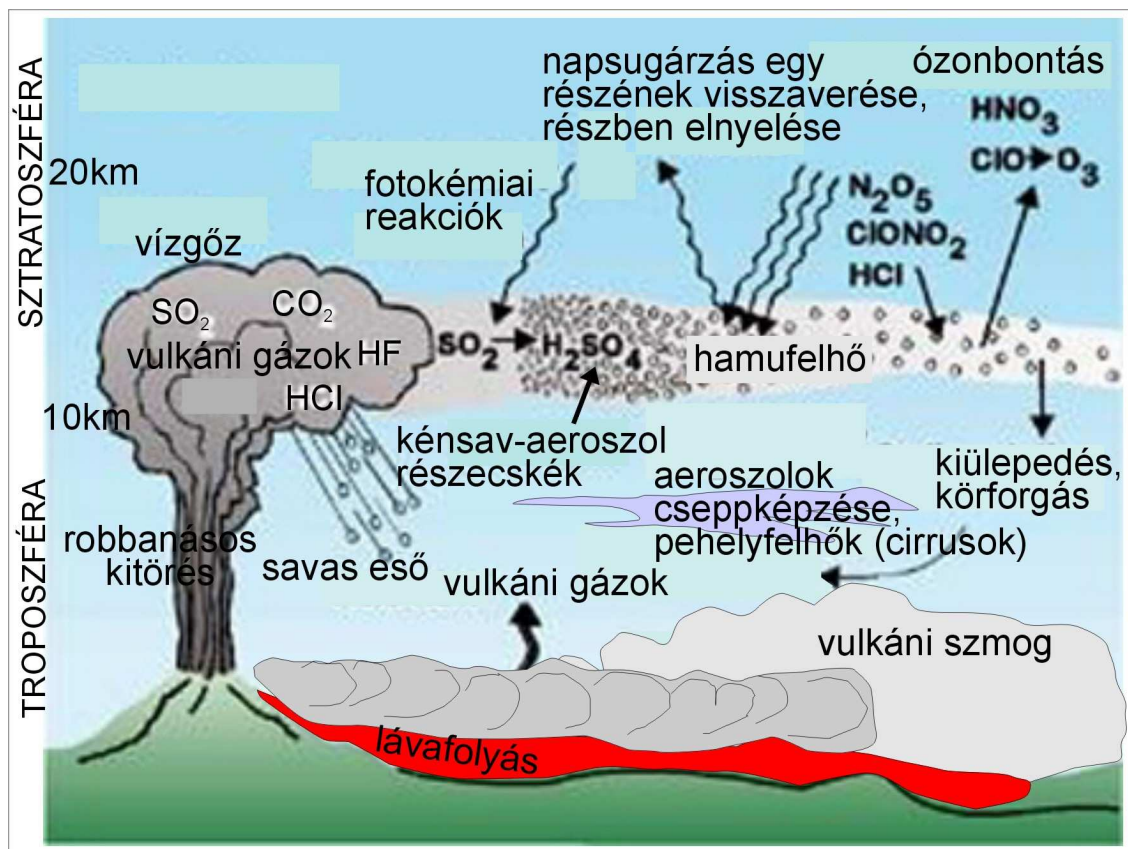
adott közegben, annál jelentősebb lesz a sugárzáselnyelés és a szóródás intenzitása, ami jelentős változásokat idézhet elő a fényviszonyokban. Mindezek mellett a kitörés során kilövellt hamu is befolyásolhatja a fényviszonyok alakulását. A sűrű hamufelhők miatt a vulkán közvetlen környezete néhány órára, vagy akár néhány napra is sötétségbe borulhat. Ez idő alatt a nappali és az éjjeli hőmérsékleti értékek közti eltérés is jelentősen mérséklődhet (Thomas, 2004; Makra és Unger, 2011/2012; Magyar Űrkutatási Iroda).

3.1.2. Hőmérséklet

A vulkáni gőzök, gázok közül a kén-dioxidnak van a legfontosabb klímamódosító hatása, mivel mind közül ez tekinthető kémiaiilag a legaktívabbnak. Kis magasságba kerülve viszonylag gyorsan, egy éven belül – lokálisan jelentkező savas esők formájában – kimosódik a légkörből, nagy magasságban, egészen a sztratoszféráig feljutva azonban globális méretű klímaingadozásokat eredményezhet. Ennek oka, hogy a kén-dioxid vízgőzzel egyesülve kénsav-aeroszollá alakul, mely nagy mennyiségben hatalmas területet lefedő felhőt képez. Ez a felhő drasztikus változásokat idézhet elő a sugárzási mérlegben, ezáltal pedig a hőmérsékleti viszonyok alakulásában.

A kénsav-aeroszol felhő komoly gátat jelent mind a felszínre irányuló sugárzás, mind pedig az onnan történő kisugárzás számára. Mivel a kénsav-aeroszol mérete azonos a fény látható tartományába eső részének hullámhosszával, a beérkező energia egy részét visszaveri, míg másik részét elnyeli (1. ábra). Ez utóbbi a sztratoszféra melegedését váltja ki, aminek – mint azt a későbbiekben látni fogjuk – szintén fontos szerepe van a kitörést követően jelentkező éghajlati anomáliák tekintetében. Ezt a melegedést tovább erősíti a földfelszíni kisugárzásból származó infravörös sugarak abszorpciója. A napsugarak egy részének visszaverődése jelentős veszteséget okoz a besugárzásban, ami a felszín közeli légrétegek hőmérsékletének csökkenését vonja maga után. Az évi átlaghőmérsékletben így akár néhány tized fokos, sőt több fokos csökkenés is bekövetkezhet a kitörést követő néhány évben. Ezt a

periódust nevezik a tudósok „vulkáni télnek” (Papp, 1986; Rampino et al., 1988; Lukovszki², 1993; Harangi, 2010; USGS/a, USGS/b).



1. ábra

Robbanásos vulkánkitörések klimatikus hatásának magyarázata (Karátson, megjelenés előtt)

A Magyarországra vonatkozó adatok elemzése arra az eredményre vezetett, hogy a nulladik évben³ egy megközelítőleg 0,5 fokos csökkenés tapasztalható az évi átlaghőmérsékletben. A hőmérsékleti értékek visszaesésének statisztikai valószínűsége a nulladik, illetve a nulladik és első évben 99 %. Szintén nagy valószínűséggel (98%) jelenthető ki, hogy a harmadik évben a hőmérsékleti értékek emelkedni fognak. Ezt akár

² Lukovszki Judit kutatásaihoz három időszakban, összesen 61 vulkánkitörést vett alapul (1553-1694: 28 kitörés, 1707-1768: 17 kitörés, 1883-1982: 16 kitörés). Ezek kiválasztása elsősorban a porfátyol index (DVI) és a vulkáni explóziós index (VEI) értékek alapján történt ($DVI \geq 300$ és $VEI > 4$). Majd további két index, a savassági index (AI) és a Smithsonian vulkáni index (SVI) értékeivel egészítette ki az adatokat.

³ Nulladik év: a kitörés évét jelenti.

az éghajlati rendszerben történő zavarok helyreállító hatásaként is lehet értelmezni (Lukovszki, 1993).

3.1.3. Csapadék

Ahogy azt már említettem, egy heves robbanásos kitörés alkalmával igen nagy mennyiségű aeroszol kerülhet a légkörbe. Ezek közül egyesek kondenzációs magként viselkedve növelhetik a felhőképződés intenzitását, ezáltal módosíthatják a csapadékviszonyok alakulását. Az aeroszokok másik része (CO₂, SO₂) pedig a sugárzási viszonyok módosításával a földi légkörzésben előidézett változásokon keresztül lehet hatással a csapadék idő- és térbeli eloszlására, illetve mennyiségének alakulására. Erről részletesebben a következő fejezetben lesz szó.

A vulkán közvetlen környezetében a kitörést követően heves esőzésekre is sor kerülhet. Az erupció során lokálisan jelentkező hőmérsékletemelkedés ugyanis erős feláramlásokat generálhat, melyek a tűzhányó-tevékenység folyamán légkörbe kerülő gőzpárát a magasabb légrétegekbe szállítva fokozzák a felhőképződés intenzitását.

A magyarországi adatokkal kapcsolatos vizsgálatok a kulcsévben (kitörés évében), illetve az azt követő egy-két évben 80 %-os valószínűséggel csökkenést jeleztek a csapadék évi mennyiségében. Ennek mértéke 40 és 70 mm között változott. A tűzhányó tevékenységet követő harmadik, negyedik és ötödik évben pedig kisebb-nagyobb ingadozások mutatkoznak. (Papp, 1988; Papp, 2001). Lukovszki kutatásai ezek mellett azt is kimutatták, hogy a kitörés évében és az azt követő esztendőben, a tavaszi időszakban lényeges csökkenés jelentkezik a csapadékösszegben. Növekedés a kulcsévet követő harmadik évben tapasztalható ismét (Lukovszki, 1993; Papp, 2001; Karátson, megjelenés előtt).

3.1.4. Általános légkörzés

A 3.1.2. pontban ismertetett folyamatok eredményeként a vulkán környezetében vagy akár nagyobb területre kiterjedően is módosulhatnak a sokévi átlagnak megfelelő hőmérsékleti értékek. A jelentős besugárzási veszteség hatására a szárazföldek felmelegedése kisebb mértékű lesz, ezáltal a szárazföldi és az óceáni területek hőmérséklete között mutatkozó eltérés is szerényebbé válik, így a két terület közti légáramlatok mérséklődnek. Nagyobb kitörések hatására a Föld szinte bármely területén (például Magyarországon is) megváltozhatnak a helyi cirkulációs viszonyok. Az izlandi Laki vulkán 1783-as kitörésekor például a monszunáramlatok lényegesen legyengülve érték el a kontinensek partjait. Emiatt monszunidőszakban a csapadék mennyisége messze elmaradt az ilyenkor szokásosnál, pusztító szárazságot idézve elő.

A sztratoszférikus melegedés szintén nagyobb területekre kiterjedve befolyásolhatja az időjárás alakulását. A hőmérséklet emelkedése miatt ugyanis az Egyenlítő és az Északi-sark felett elhelyezkedő légrétegek hőmérsékleti értékei közti különbség jelentősen mérséklődhet, minek következtében a nyugatias futóáramlatok gyengülhetnek (Harangi, 2008; Harangi, 2010).

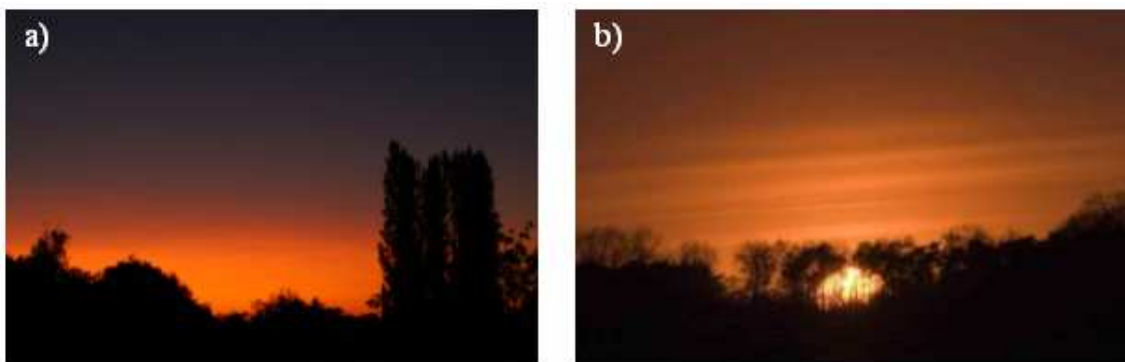
Az áramlási viszonyokban jelentkező anomáliák Magyarország esetében is nyomon követhetők. A vulkánkitöréses években legmarkánsabban a délies helyzetek számának csökkenése, valamint az anticiklonális helyzetek számának növekedése jelentkezik. A csapadékos, meleg időjárási viszonyok gyakorisága csökken, szoros összefüggésben a hőmérsékleti értékek és a csapadék eloszlásának alakulásával (Lukovszki, 1993).

3.2. Napsugarak szóródásában előidézett változások

Egy-egy hevesebb vulkánkitörés után gyakran tapasztalhatunk – akár hazánkban is – különös fényjelenségeket, mind a nappali, mind az éjszakai égbolton. Éppen ezért úgy gondolom, hogy a tűzhányó-tevékenység légköri hatásainak ismertetése csak ezen jelenségek bemutatásával lehet teljes. Ugyanakkor fontosnak tartom leszögezni, hogy ezek a látványosságok nem csak vulkánkitörések alkalmával jelentkeznek.

3.2.1. Az égbolt, a Nap és a Hold színváltozásai

Az egyik talán legismertebb optikai jelenség, mely hevesebb vulkánkitörések után tapasztalható, a szokásosnál sokkal intenzívebb vöröses naplementék és napfelkelték (2. ábra). Ezt a napsugarak parányi hamuszemcséken történő szóródása idézi elő. Nevezetesen a rövid hullámú tartományba eső színek (kék, zöld, sárga) kiszóródásával megmaradó narancs és vörös színeknek a hamuszemcséken történő további szóródása, majd visszaverődése idézi elő e látványos naplementéket.



2. ábra

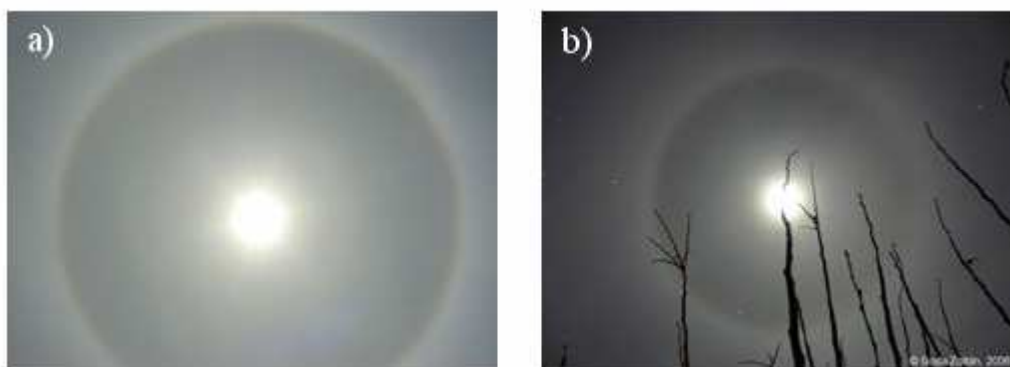
Vulkáni naplementék (fotó: a) Landy-Gyebnár Mónika, 2008; b) Robert Hoetink, 2010)

Az előbb említetthez hasonlóan szokatlan légköri optikai jelenség azonban a nappali égbolton is megfigyelhető, igaz, jóval ritkábban. A Krakatau 1883-as kitörését követően nem mindennapi jelenségre lettek figyelmesek az emberek: a Nap kezdetben zöld, majd kékes fényben tündökölt a vöröses-rózsaszínes égbolton. E különleges látványosság háttérében szintén a napsugarak hamuszemcséken bekövetkező szóródása áll. A Nap alacsony állásakor a hamufelhőn áthaladó fénysugarakból kiszóródtak a nagyobb hullámhosszúságú (vörös, narancs, citromsárga), majd a levegőmolekulákon bekövetkező szóródás hatására a kék és az ibolya komponensek is. Ez eredményezte a Nap kezdeti zöld színét. Magasabb napállás idején viszont a kék szín egyre kisebb mértékben szóródott, ezáltal a Nap színe fokozatosan eltolódott a kék irányába. Az égbolt különös színét pedig az oldalra kiszóródó, nagyobb hullámhossz-tartományba

eső fény adta. Így alakulhatott ki az a szokatlan helyzet, hogy a Nap és az égbolt a szokásoshoz képest éppen ellenkező színt öltött. A Hold esetében is megfigyelhetők ezek a színváltozások. Ezt a jelenséget nevezzük kék Holdnak (Horváth, 1986; Légekoptikai jelenségek).

3.2.2. Halojelenségek

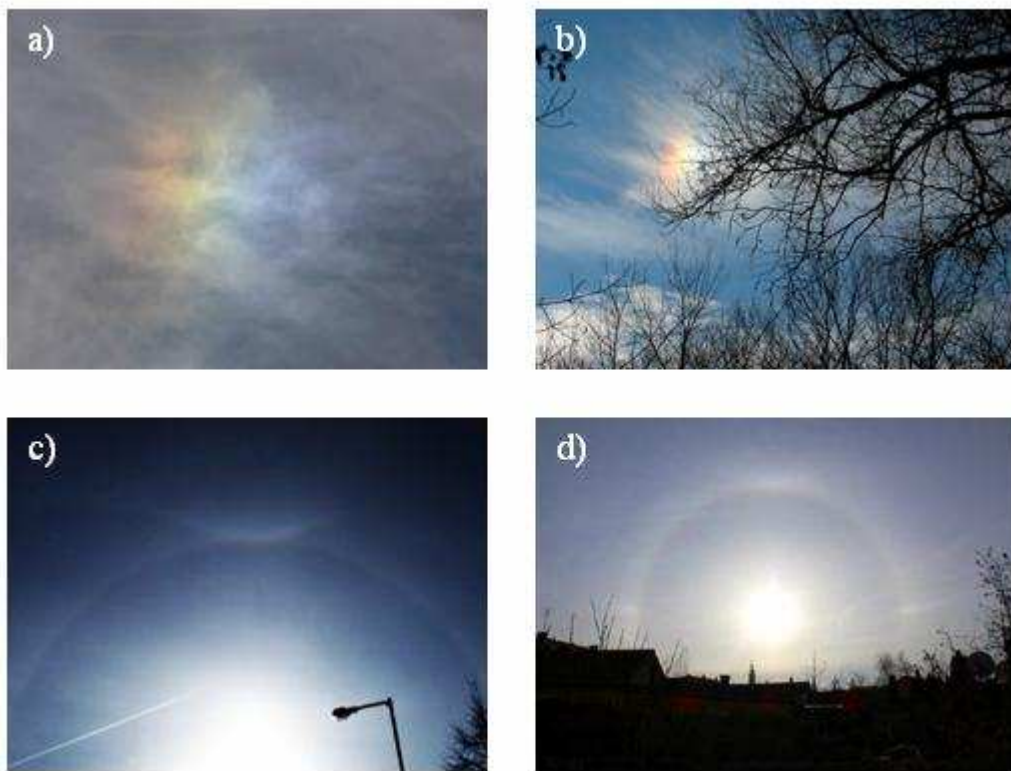
A halo kialakulásának oka, hogy a Napból érkező fénysugár fátyolfelhőzeten áthaladva, annak jégkristályain megtörik. („Fátyolfelhőkön nem mindig keletkezik halo, de a halo mindig fátyolfelhőn keletkezik.” Major, 1980) A jelenségnek több válfaja ismert, azt, hogy éppen melyik típus alakul ki, a jégkristályok alakja, elhelyezkedése határozza meg, illetve, hogy a felhőt alkotó kristályok morfológiája azonos vagy sem. Előfordulhat, hogy egyszerre több jelenséget is megfigyelhetünk. Ilyenkor komplex halojelenségről beszélünk (4. ábra). A fénytörés következtében a jégkristályon keresztül haladó fehér fény alkotóelemeire bomlik, majd szóródik. Ennek eredményeként a Nap, vagy a Hold körül fehéres vagy színes gyűrűk jelennek meg (3. ábra). A belső ívek vörös színűek, a legkülső gyűrűk pedig ibolyába mennek át (Barát, 1962; Légekoptikai jelenségek).



3. ábra

Halojelenségek: a) Halo a Nap körül (fotó: Szabó Sándor, 2009); b) Halo a Hold körül (fotó: Goda Zoltán, 2007)

Mint arról már esett szó, ezek a jelenségek sokfélék lehetnek. Egyik változatuk az ún. melléknap vagy mellékhold (4. ábra). A látványosság kialakulása a jégkristályok oldallapjain megtörő fényhez kapcsolódik. Általában a Naptól 22° -ra, azzal egyvonalban található kis fehér vagy színes foltok az égbolton, melyek a halo és az ún. parhelicus kör⁴ metszésében helyezkednek el. Utóbbi esetben a Naphoz közeli oldal vöröses, a távolabbi pedig kékesfehér színt vesz fel. Nem minden esetben látható mindkét melléknap, előfordul, hogy csak a bal, illetve csak a jobb oldali figyelhető meg (Barát, 1962; Légekoptikai jelenségek).



4. ábra

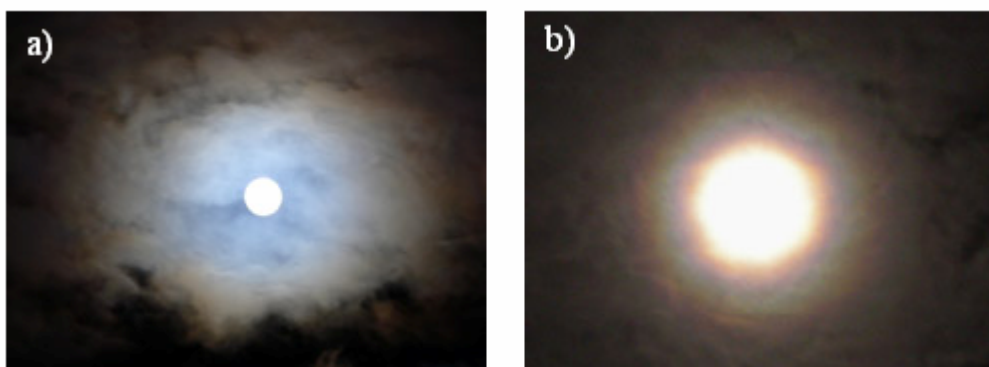
Halojelenségek egyéb típusai: a) Jobb oldali melléknap (fotó: Goda Zoltán, 2006); b) Jobb oldali melléknap (fotó: Goda Zoltán, 2004); c) Felső érintőív (fotó: Gyebnár Mónika, 2006); d) Komplex halo: 22° -os halo, felső érintőív, jobb és bal oldali melléknap (fotó: Goda Zoltán, 2007)

⁴ Fehér fényű körív, mely áthalad a napkorongon.

22°-os halo esetén gyakran megfigyelhető jelenségek az érintőívek (4. ábra). Naphoz viszonyított helyzetük alapján megkülönböztetünk alsó és felső érintőívet, melyek a halo legalsó, illetve legfelső pontján érintik azt. Általában csak a felső érintőív látható, mivel az alsó túl közel van a horizonthoz. Abban az esetben, ha a Nap magassága meghaladja a 29°-ot, a két ív összekapcsolódik, és körülíró ívet hoz létre. Színük általában fehér, de lehetnek színesek is. Ebben az esetben is a belső oldalak vöröses árnyalatúak, a külsők pedig kékesfehér színűek lesznek (Légköroptikai jelenségek).

3.2.3. Koszorújelenségek

Ezzel a látványossággal akkor találkozhatunk, ha a Napot vagy a Holdat vékony felhőréteg takarja. A jelenség a felhőt alkotó vízcseppeken bekövetkező fényhajlason alapul. Koszorú (korona) esetében a Nap vagy a Hold körül színes gyűrűk jelennek meg (5. ábra). A gyűrűk színe és szélessége a cseppek méretétől függ. Egyenletes eloszlású, kis cseppek esetén figyelhetők meg a leglátványosabb elhajlási jelenségek. Ilyenkor a spektrum összes színe megjelenik. A halóval ellentétben azonban itt a belső ívek kékes árnyalatúak, a külsők pedig vörösbe hajlanak. Nagyobb cseppátmérő esetén csak egy kék és egy vöröses árnyalatú gyűrű jelentkezik.



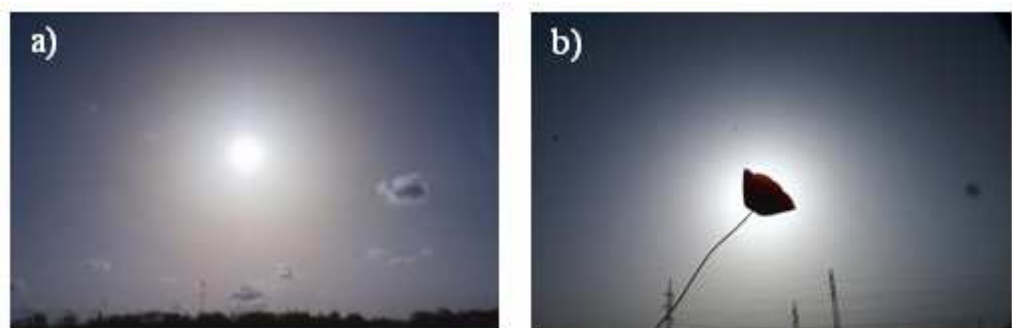
5. ábra

Koszorújelenségek (fotó: a) Goda Zoltán, 2007; b) Farkas Alexandra, 2007)

Abban az esetben, ha a felhőt alkotó cseppek mérete nagy szórást mutat, egy egybemosódó gyűrű, aureola (más néven fényudvar) jelenik meg. Mindkét jelenség leggyakrabban a Hold körül figyelhető meg. A Nap esetében is jelentkezhetnek, azonban annak erős fénye miatt csak nehezen észlelhetők (Czelnai és Szepesi, 1986; Légekoptikai jelenségek).

3.2.4. Bishop-gyűrű

A jelenséget először Sereno Bishop Hawaii-on élő lelkész írta le a Krakatau 1883-as kitörését követően. Kialakulásuk a koszorújelenségekkel megegyezik, azzal a különbséggel, hogy itt a fényhajlás nem vízcseppeken, hanem finom porszemcséken következik be. Vulkanikusan aktív területeken gyakran jelentkeznek, de hazánkban is észlelték már. Magyarországon leginkább akkor figyelhető meg, amikor a Szaharában pusztító porviharok alkalmával a légkör magasabb részébe feljutó finom porszemcséket a magaslégköri áramlatok északi irányba szállítják (Czelnai és Szepesi, 1986; Légekoptikai jelenségek).



6. ábra

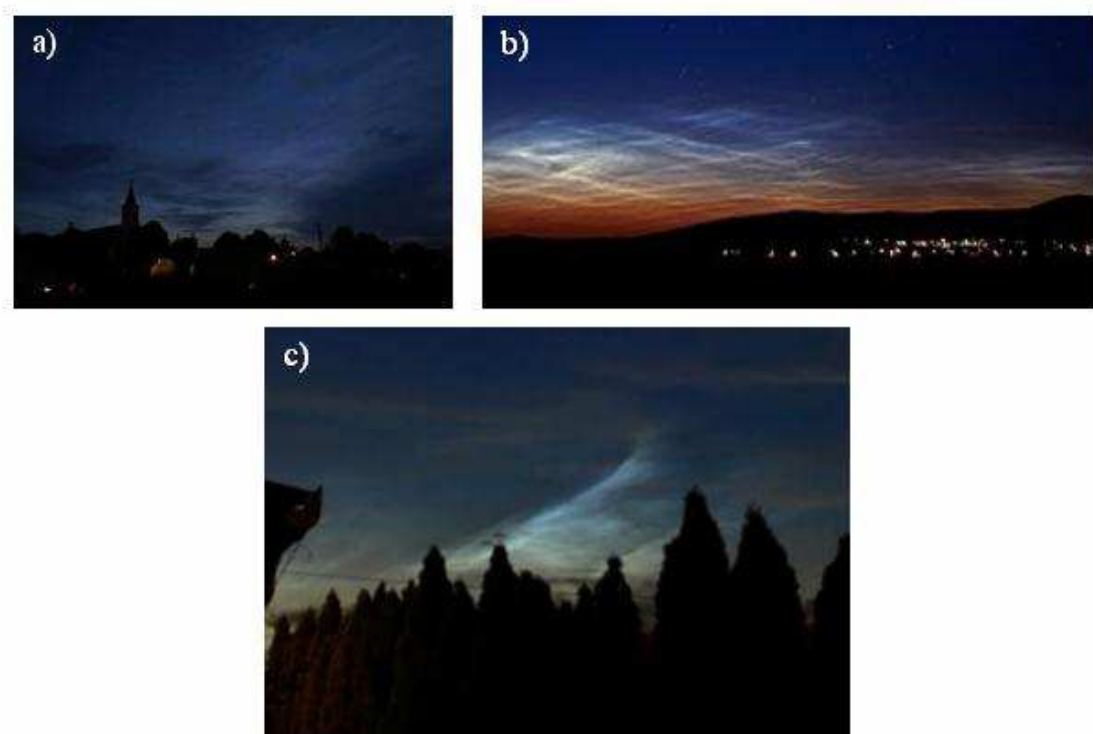
Bishop-gyűrűk: az égitesthez közelebb eső gyűrűk kékes árnyalatúak, a távolabbi gyűrűk vörösbarnába hajlanak (fotó: a) Peter-Paul Hattinga Verschure, 1991; b) Gyebnár Mónika, 2008)

3.2.5. Világító felhők

A világító felhők (ezüstfelhők) fényüket a lenyugvó vagy felkelő Napnak köszönhetik, amely már, illetve még nem világítja meg az alacsony, középmagas és magas szintű felhőket. Ezek csak úgy észlelhetőek az éjszakai égbolton, ha a városi fény vagy a Hold fénye megvilágítja őket, illetve amikor mozgásuk során eltakarják az égitesteket. A világító felhők ugyanakkor teljesen áttetszőek, így rajtuk keresztül is láthatjuk a csillagokat. Színük általában kékesfehér (7. ábra). Alakjukat tekintve négy alapforma különíthető el: fátyolszerű, sávós, csíkos, és csavarodott. Előfordulhat, hogy egyszerre több típus is jelentkezik, illetve akár több szintet is alkothatnak. Általában hirtelen tűnnek fel az addig tiszta égbolton, ezt követően szétterjednek, esetenként még fényességük is fokozódik, majd néhány perc, vagy néhány óra múlva amilyen gyorsan megjelentek, olyan gyorsan el is tűnnek. Az esetek többségében április és szeptember között lehet őket megfigyelni, de márciusban és októberben sem kizárt megjelenésük. November és február között még nem találtak ezzel a jelenséggel.

Az évtizedes megfigyelések során a világító felhők három jellegzetes tulajdonsága rajzolódott ki. Az egyik, hogy megjelenésüket mindeztáig csak magasabb szélességeken, egészen pontosan a 40° szélességi körtől északra, illetve délre észlelték. Ennek oka keletkezésük körülményeiben keresendő. A világító felhők kialakulásához is szükség van vízgőzre, illetve kondenzációs magra. Ez utóbbi lehet meteorpor vagy akár vulkáni eredetű anyag, mely egy nagyobb erejű vulkánkitörés során bekerülhet a légkör magasabb rétegeibe is. Vízgőz azonban ilyen magasságba (80-85 km) már nem jut fel a Föld felszínéről, ebből következően annak ott helyben kell keletkeznie. Ehhez oxigénre és hidrogénre van szükség. Előbbi a magasabb légkörben is jelen van, utóbbi pedig a Naptól származó anyagi sugárzás eredményeként kerül oda (ez magyarázatot ad a világító felhők másik fontos tulajdonságára, mégpedig, hogy megjelenésük nagyrészt erős naptevékenységhez kötődik). A légkörbe érve a hidrogénatomok egyesülnek az ott található oxigénatomokkal, és vízmolekulákat képeznek. Mivel azonban a Naptól érkező részecskék elektromos töltéssel rendelkeznek, a Föld mágneses mezeje a magasabb szélességek felé téríti őket.

A harmadik jellegzetessége e képződményeknek, hogy 80-85 km magasságban keletkeznek, alattuk és felettük pedig felhőmentes zóna húzódik. Ahhoz, hogy megindulhasson a felhőképződés, a vízgőznek telített állapotba kell kerülnie. Ehhez az kell, hogy a légnyomás értéke meghaladja a telítési párányomást. Ez a feltétel viszont csak 80-90 km magasságban teljesül (Béll, 1958; Légekóroptikai jelenségek).

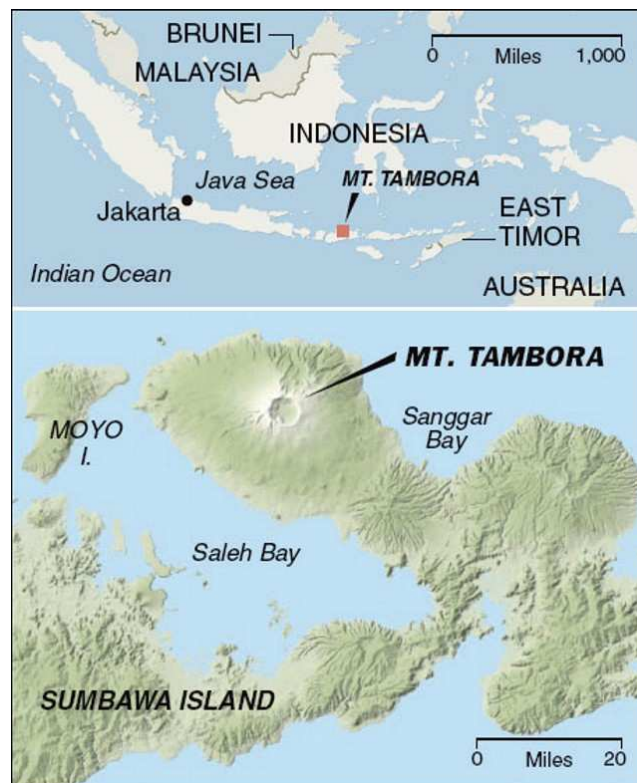


7. ábra

Világító felhők (fotó: a) Gyebnár Mónika, 2007; b) Veres Viktor, 2007; c) Goda Zoltán, 2007)

4. Esettanulmány: a Tambora 1815-ös kitörése

Az indonéziai Sumbawa szigetén fekvő (8. ábra) Tambora (d.sz. 8°, k.h. 118°) 1815-ös kitörését a történelmi idők legnagyobb kitöréseként tartják számon. Működése során a vulkán jelentős mennyiségű, hozzávetőlegesen 150 km³ hamut és horzsakövet szolgáltatott (mely szilárd közetre átszámítva 50 km³-nek felel meg), továbbá 200 megatonna aeroszolt lövellt fel a sztratoszférába (a Krakatau 1883-as kitörésekor 50 megatonna, a Mt. St. Helens 1980-as kitörésekor pedig mindössze 0,3 megatonna aeroszol került a légkör ezen tartományába). Nem meglepő tehát, hogy a Tambora ezen rendkívül heves kitörése (a VEI skálán⁵ 7-es értéket képvisel!) igen nagy hatással volt a földi klimatikus viszonyokra (Rampino et al., 1988; Oppenheimer, 2003).



8. ábra

A Tambora földrajzi elhelyezkedése (Global Volcanism Program)

⁵ VEI (Volcanic Explosion Index): C. G. Newhall és S. Self által 1982-ben kidolgozott 0-tól 8-ig terjedő skála, mely egyesíti a mennyiségi mutatókat a megfigyelők szubjektív leírásaival. (Newhall és Self, 1982). Általában VEI 5-ös, vagy annál nagyobb kitöréseknek van klimatikus hatása.

4.1. A kitörés menete

5000 évnyi szunnyadás után, 1812-ben ismét éledezni kezdett a tűzhányó. A környező területek lakosai többször hallották morajlani a vulkánt, illetve kisebb hamufelhőket is megfigyeltek. Az ezt követő három évben gyenge szeizmikus aktivitás jellemezte a területet, mígnem 1815. április 5-én, helyi idő szerint kora este kezdetét vette az első komolyabb kitörés, amely körülbelül két órán át tartott. A vulkáni működést ágyúdörgésszerű robbanások kísérték, melyeket több száz kilométeres távolságban is hallottak. Másnap reggel könnyű hamueső kezdett hullani. A valamivel tompább és ritkább robbanásokkal tarkított hamuhullás egészen április 10-én estig folytatódott. Este hét óra tájban azonban a kitörés fokozódott, mígnem elérte csúcspontját. Ezt követően először centiméteres nagyságú horzsakövek kezdtek hullani, majd ezt egy órával később hamueső váltott fel. Mindeközben a szél is feltámadt, óriási pusztítást hagyva maga után (Stothers, 1984; Oppenheimer, 2003). Sanggar rádzsája így emlékezett vissza az eseményekre (részletek, Oppenheimer cikke nyomán):

„Körülbelül este hét óra felé április 10-én, három jól megkülönböztethető tűzoszlop tört elő a Tomboro hegycsúcs közelében, és miután külön-külön nagyon magasra emelkedtek, a tetejük kavargó összevisszaságban forrt össze a levegőben.”

„Rövid időn belül, az egész hegy Sang'ir mellett teljes egészében folyékony tűznek tetszett, minden irányba kiterjesztve magát. A tűz és a lángoszlopok változatlan dühvel folytatódtak, mígnem a hulló anyag által okozott sötétség elhomályosította őket este 8 óra körül. Ebben az időben sűrű kőzárópor érte Sang'ir-t, némelyik darab kétökölnyi volt, de a többségük dió méretűnél nem volt nagyobb.”

„Este 9 és 10 óra között hamu kezdett hullani, majd röviddel ezután erős forgószél támadt, mely Sang'ir falujában majdnem minden házat elsöpört, magával ragadva a pálmafedeleket és tetőket, könnyebb házdarabokat. A falu Tomboróval érintkező részén a hatásai sokkal erősebbek voltak: gyökerestől tépte ki a legnagyobb fákat is, és

feldobta őket a levegőbe, emberekkel, lovakkal, szarvasmarhákkal és minden mással együtt, ami az útjába került.”

„A forgószél körülbelül egy órán át tartott. Míg a forgószél el nem ült délelőtt 11 óra felé, robbanásokat nem lehetett hallani. Éjjeltől 11-én estig, ezek szünet nélkül folytatódtak; ezután erejük csökkent, és csak időnként hallatszóttak, de egészen 15-éig a robbanások nem szűntek meg teljesen.”

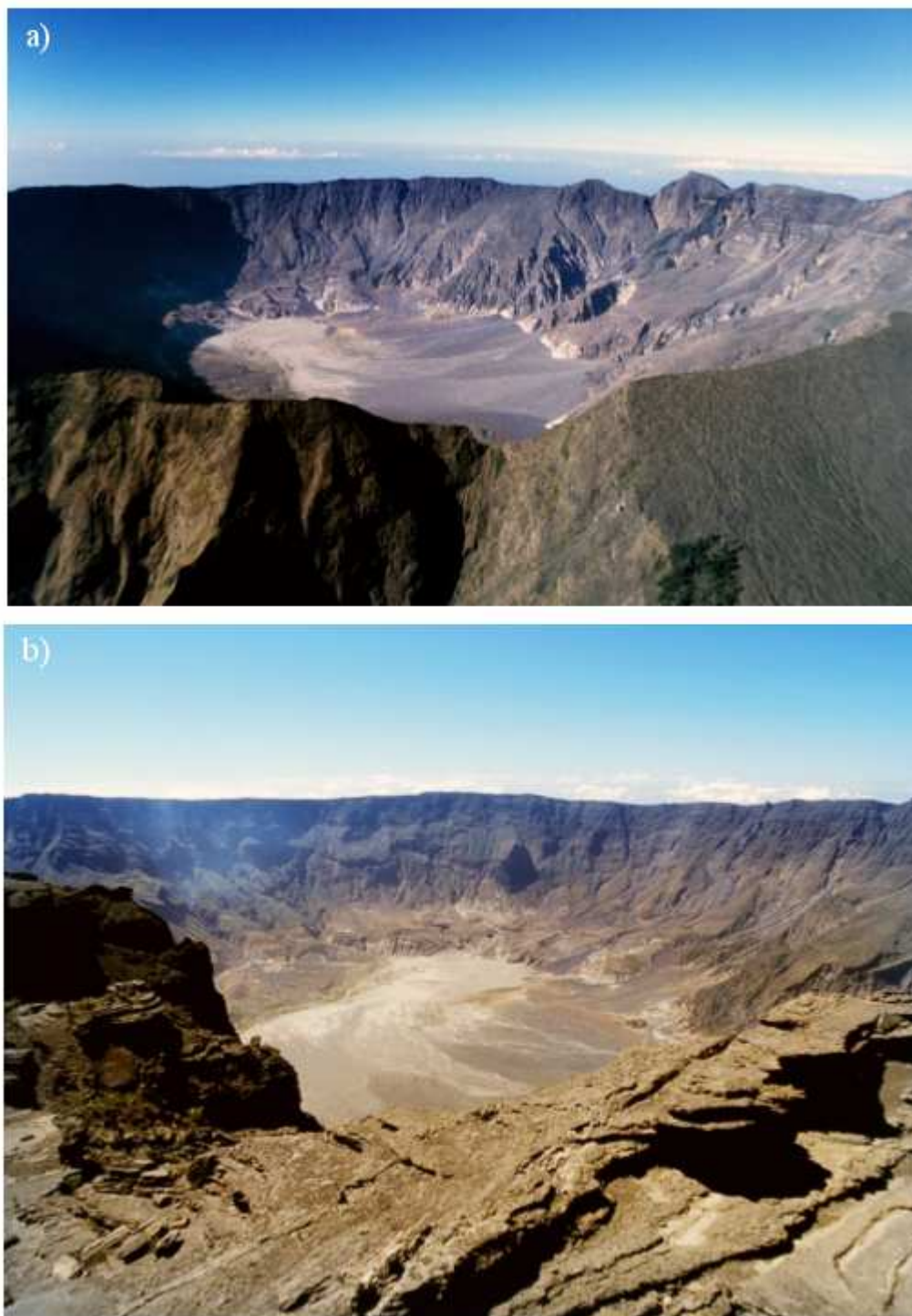
A feljegyzésekből az valószínűsíthető, hogy a – későbbi kutatások eredményeként 43 km magasra becsült – kitörési oszlop este 10 óra körül összeomlott, hatalmas piroklaszt-árakat indítva útjukra, melyek teljesen elpusztították Sanggar és Tambora falvakat. A korabeli feljegyzések hangos robbanásokról számolnak be, melyeket egész éjjel, sőt még másnap este is hallani lehetett, illetve kisebb földrengéseket is feljegyeztek. Április 11-én a hegy teteje még mindig sötét hamufelhőkbe burkolódzott, melyek a kitörés kezdete óta a monszunáramlatok hatására jelentősen szétterjedtek és tekintélyes területet fedtek be. A vulkán 600 km-es körzetén belül egy-két napig teljes sötétség uralkodott, és az azt követő néhány napban is – 15-éig – alig szűrődött át napfény a ritkuló hamufelhőn. A környező területeken a hőmérsékleti viszonyokban is drasztikus változások álltak be: a levegő kezdetben nagyon forró, majd hideg lett.

A hamuhullás a hónap közepére mindenhol befejeződött. A hegy csúcsát azonban továbbra is „füst” és hamufelhők takarták. Július közepére a robbanások is abbamaradtak. A vulkán morajlását viszont még egy évvel később, 1819 augusztusában is hallani vélték. A kitöréskor kiszóródó horzsakövek a tengeren úszva hatalmas tutajokká álltak össze. Ezek némelyike több kilométer széles és közel egy méter vastag volt. Egyes területeken még a kitörés után három évvel is akadályozták a hajózást.

A csúcskitörést követően jelentősen megváltozott a vulkán morfológiája. A Stothers által 4300 méter magasra becsült, kettős (nyugati és keleti) csúcsú vulkán helyén, ma egy 6 km széles, 6-700 m mély kaldera található (9. ábra), melynek pereme csak 2850 m-rel magasodik a tenger szintje fölé.

Valamikor 1847 és 1913 között ismét kitört a Tambora, azonban ez jóval szerényebb mértékű volt az előbb tárgyalt kitöréshez képest (VEI 2). A tűzhányó-

tevékenység során kisebb lávafolyamok keletkeztek, illetve a kaldera belsejében egy lávadóm is kiemelkedett, melyet Doro Afi Toi-nak neveztek el (Stothers, 1984; Oppenheimer, 2003; Global Volcanism Program).

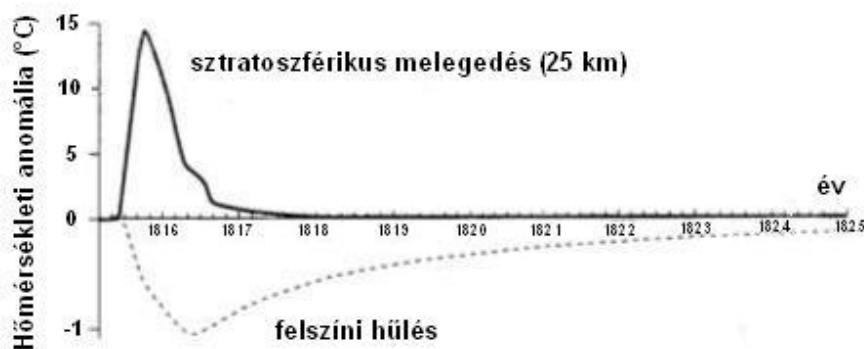


9. ábra

A Tambora kalderája (foto: a), b) Laurie K. Gilbert)

4.2. A kitörés nyomán fellépő szokatlan éghajlati-időjárási események és hatásuk a természeti, valamint a társadalmi-gazdasági környezetre

A Tambora kitörése során – ahogy arról már esett szó – igen nagy mennyiségű kénsav-aeroszol került a légkörbe. Ennek tekintélyes része a sztratoszférába is eljutott, ahol egy ún. kénsavaeroszol-felhőt képezve drasztikus változásokat idézett elő a sugárzási viszonyokban. Blokkolta a Napból érkező sugárzás nagy részét, ezáltal a földfelszíni hőmérséklet jelentősen csökkent, a sztratoszféra hőmérséklete pedig ezzel ellentétben megemelkedett (10. ábra). Ezen folyamatok következményeként az időjárási-éghajlati viszonyokban zavarok keletkeztek. Minthogy az aeroszol-felhőt a légáramlatok távolabbi területek fölé is elsodorták, a hatások nemcsak a vulkán közvetlen környezetében, hanem a Föld számos pontján érezhetőek voltak.



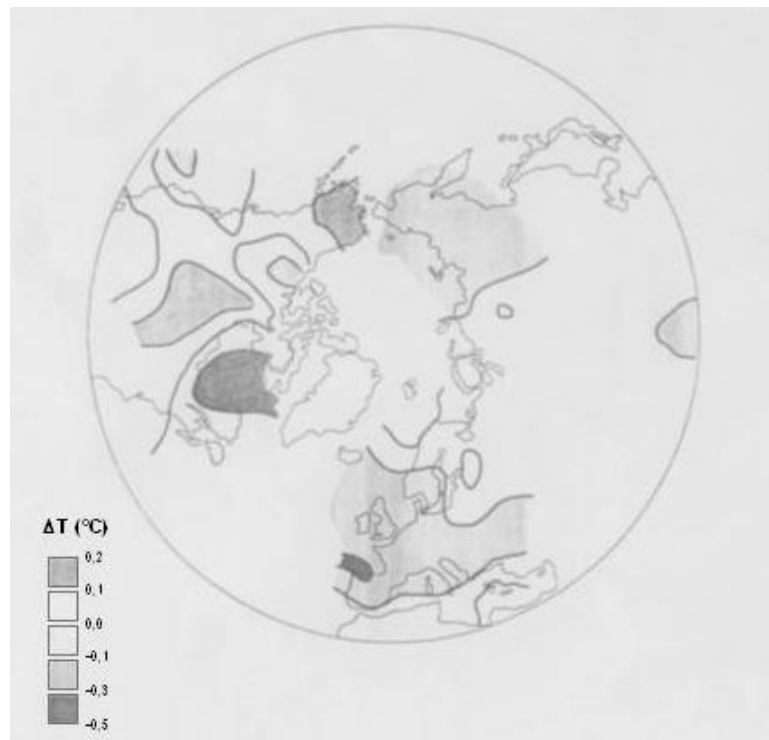
10. ábra

A Tambora kitörését követő globális sztratoszférikus és felszíni hőmérséklet-változások modellje (Oppenheimer, 2003 alapján)

Ahogy arra a fentiekben utaltam, a kitörés következményeként jelentős anomáliák mutatkoztak az északi félteke időjárási viszonyaiban. Ezek legmarkánsabban a nyári időszakban jelentkeztek. 1816-ban a nyáron mért hőmérsékleti értékek rendkívül alacsonyak voltak: gyakran fagypont alatt maradtak, illetve a korabeli feljegyzések több alkalommal számolnak be havazásról. Így talán nem meglepő az az állítás, miszerint ez volt az elmúlt hat évszázad egyik leghidegebb nyara – csak 1601-ben mértek ennél

hidegebbet, a perui Huaynaputina kitörését követő évben. Ez a szokatlan állapot a következő két évben is megmaradt. Ezzel ellentétben a telek viszont enyhébbek voltak a megszokottnál.

Tanulmányukban Rampino et al. (1988) P. M. Kelly azon felvetését ismertetik, miszerint a vulkáni aeroszol-felhők számottevő csökkenést idéznek elő a felszíni nyomásban az Észak-atlanti térség közepes szélességein. Ennek hatására az ezeken a szélességeken uralkodó ciklonok dél felé tolódnak el. A folyamat Anglia és Nyugat-Európa túlnyomó részén hűvös, nedves nyarat eredményezhet. A felvetést a korabeli adatok igazolni látszanak: 1816 elejétől Európa felett valóban negatív nyomás-anomália mutatkozott, illetve a hőmérsékleti és csapadékadatok is ennek megfelelően alakultak (11. ábra).



11. ábra

Rekonstruált felszíni hőmérséklet-anomáliák az 1816-os nyárra
(Oppenheimer, 2003 alapján)

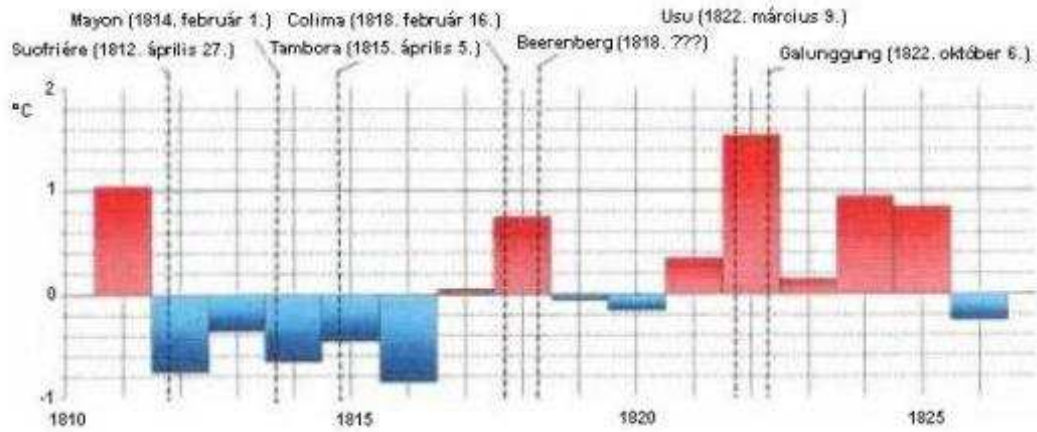
A Tambora kitörését követő évben Európa nagy részén szélsőséges időjárás uralkodott. A nyár meglehetősen hűvös és csapadékos volt. Nyugat- és Közép-Európa nagy részén a nyári hőmérsékleti értékek az 1810-1819 közötti időszak átlagánál 1-2 fokkal alacsonyabbak voltak. A kontinens jelentős részén – a Kelet-Mediterráneum kivételével – tekintélyes mennyiségű csapadék hullott a nyári időszakban. Írországban a tavasz, a nyár és az ősz középhőmérséklete 1816-ban 3 fokkal alacsonyabb volt az előző évi értékekhez képest, ezzel szemben a tél nagyon enyhe volt. Németország több területén hatalmas esőzések és a nyomukban kialakuló áradások pusztítottak. A viszontagságos időjárás miatt a termést sok helyen nem, vagy csak a szokásosnál később tudták betakarítani, és a minősége is elmaradt a korábbi évekéitől. Németországhoz hasonlóan Franciaország északkeleti részén és Tübingiában is rossz volt az időjárás. Svájc középső és keleti területein is bőségesebb csapadék hullott az addig megszokottnál, a hegyi kaszálók sok helyütt vízben álltak. Európa ezen területeivel ellentétben a kontinens északkeleti és keleti részén (Oroszország európai, valamint Svédország északkeleti területein, továbbá Lengyelország vidékén) azonban a sokéves átlagnak megfelelő időjárás uralkodott (amint azt a *11. ábrán* korábban már láthattuk).

A rendkívül csapadékos és hűvös időjárás, továbbá a pusztító árvizek miatt a terméshozamok nagyon alacsonyak voltak, melynek hatására az élelmiszerárak az egekbe szöktek. Az élelmiszerellátási nehézségek nyomán fellépő éhínség, illetve az ezt kísérő tífuszjárvány az amúgy is legyengült lakosság körében tömegével szedte áldozatait. A nyomorúságos életkörülmények miatt elkeseredett lakosság fosztogatni kezdte a pék- és húsüzleteket, emellett a gabonaszállítmányokat is gyakran érték támadások. A legrászorultabbakon melegétel- és kenyérosztással próbálták segíteni a hatóságok. A továbbra is kilátástalannak tűnő helyzet előtt több ezren menekültek a tengeren túlra. Azonban Észak-Amerikában is az európaihoz hasonló körülmények uralkodtak. Az USA északkeleti részét 1816 tavaszán és nyarán tartós száraz köd uralta, melyet sem eső, sem szél nem tudott feloszlatni. A köd olyan erős átlátszatlanságot okozott, hogy szabad szemmel is megfigyelhetőek voltak a napfoltok. A késő tavasztól kora őszig terjedő időszakban az Államok számos területén fagypont alatt maradt a hőmérséklet, nem ritkán havazott is. A rendkívüli időjárás jelentős károkat okozott a

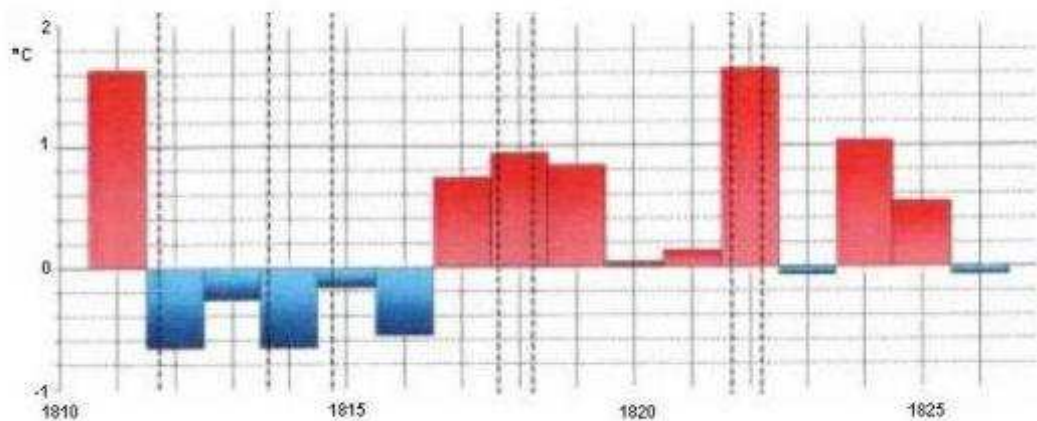
termésben. A gabona és kukoricatermés egy része, a zöldségfélék pedig szinte teljes mennyisége elpusztult. A hideg időjárás és az élelmezési problémák okán a keleti államok lakosságának egy része a nyugati, északnyugati területekre vándorolt. Az USA-hoz hasonlóan Kanadában is szokatlanul hideg nyárról számoltak be. Több alkalommal jelentettek éjszakai fagyot. Montreal és Quebec környékén június közepén több tíz centiméter vastag hótakaró hullott (Stothers, 1984; Rampino et al, 1988; Vasold, 2000; Oppenheimer, 2003).

Az évi átlaghőmérséklet értékében a Kárpát-medencében is kimutatható csökkenés a Tambora kitörésének évében. Papp Zoltán doktori értekezésében (Papp, 2001) Budapest és Bécs évi átlaghőmérsékleteinek alakulását vizsgálva – amint az a *12. ábrán* is nyomon követhető – arra az eredményre jutott, hogy a lehülési periódus már 1812-ben kezdetét vette és egészen 1816-ig tartott. A lehülés mértéke 0,8 fok körüli értéket mutat. Munkájában azonban felhívja a figyelmet arra, hogy a Tambora kitörését megelőző években két robbanásos működéssel jellemzett vulkán (Suofriére 1812, Mayon 1814) is kitört, melyek szintén éreztethették hatásukat. A diagramokról az is leolvasható, hogy Budapest esetében 1819-ben és 1820-ban, Bécsben pedig egy évvel eltolódva szintén két olyan esztendő következett, amikor átlaghoz közeli vagy az alatti volt az évi átlaghőmérséklet értéke, illetve az előző évekhez viszonyítva is jelentős csökkenés mutatkozik. Papp ezt két 1818-ban lezajlott kitöréssel (Colima, Beerenberg) magyarázza (Papp, 2001).

Budapest évi átlaghőmérsékletének eltérése 1811-1826 között az 1780-1852 közötti évek átlagától



Bécs évi átlaghőmérsékletének eltérése 1811-1826 között az 1780-1852 közötti évek átlagától



12. ábra

Évi átlaghőmérséklet értékek átlagtól való eltérése Budapest és Bécs esetében 1810-1826 között (Papp, 2001 nyomán)

A kitörés meteorológiai hatásai Magyarországon sokban hasonlítottak a kontinens más területén tapasztaltakhoz. Már 1815 nyarán is szokatlan eseményeket jegyeztek fel. Nyáron hatalmas esőzések, jégzivatarok és forgószelek pusztítottak, melyek nagy kárt okoztak a szántóföldi termésben és szőlőültetvényekben. A hirtelen lehullott nagy mennyiségű csapadék következtében a folyók kiléptek medrükből. Az ősz szintén nagyon csapadékos volt, azonban a sok esőt már nem tudták elvezetni a földek, így a takarmány nagy része tönkrement. A megmaradt termés pedig az egerek pusztításának esett áldozatul számos alföldi területen. Mindezek eredményeképpen sok helyen újra kellett vetni. A szőlő bár gazdagon termett, a sok eső miatt a bogyók nem értek meg rendesen, emiatt a belőlük készült bor szinte ihatatlan volt. A tél beköszöntével az időjárás rendkívül zorddá vált. Január végén egy mediterrán ciklon nyomult be hazánk területére, mely hideg északi széllel párosulva nagy havazást és farkasordító hideget eredményezett. A viharos széllel kísért hóvihár két napig tartott. Számos jószág odaveszett a nagy hidegben, és az emberek közül is sokakat ért fagyhalál. A rideg időjárási viszonyok februárban és márciusban sem változtak. Áprilisban az idő enyhébbre fordulásával a gyors hóolvadás hatalmas árvizeket eredményezett a folyókon, míg a laposabb térszíneket nagy kiterjedésű állóvizek borították el. Az akkori állapotokat a következő két feljegyzés is jól szemlélteti (Réthly, 1998):

„A' gabona termőföldek víz alatt lévén, az őszi vetések oda lettek, tavaszi vetésről gondolkodni sem lehetett, 's e' szerént az egész esztendei termés oda van.”

„Mostmár a' szántóföldön minden barázdában víz fakadt és ott mégis áll, attól félnek, hogy BÁNÁTból a' lesz, ami valaha volt – tenger.”

A nagy termés kiesés következtében a gabona nagyon megrágult, ami a kontinens más területeihez hasonlóan hazánkban is éhínséghez vezetett. Május végén Erdélyben a következőket jegyezték fel (Réthly, 1998):

„Most országunkban a' szükség és szegénység, nagyon uralkodnak. A' köznép legtöbbször Zab és Alakor (Tönköly) kenyérral él, de azt is felette szűken és drágán

kapja, mert az Alakornak vékája 20 huszas, a' Zabnak pedig 2 R. forint. Ezen szűk esztendőök megtanitották a' mi falusi embereinket, hogy az Alakort és a' Zabot termesszék a' Rozs és Búza mellett is, mivel amazok inkább megteremnek, 's bővebben eresztenek. A' Krumpli termesztést is ezen szűk esztendőök vétették be ami köz embereinkkel, főként midőn a' mult esztendőnek tavaszán, a' Fels. Királyi Igazgatóságok kemény parancsolat által szoritotta őket annak mivélésére. Az idén már bőven ültették, 's hihető annyira meggyőződtek annak hasznos voltáról, hogy a' legbővebb esztendőökben sem lesznek el anélkül. Némelly Uraságok egész holddal vetik, hogy táplálhassák szegényebb embereiket. [...] A' Földnépe kifogyott a' Szarvas Marhából; azért a' szántás szűk és drága. Egész táblákat látunk kapa után vetni. A' tavaszi napok még eddig kedvezőleg jártak, bővebb terméshez vagyon reménységünk. Gyümölsünk is lesz, minden egyéb, tsak szilva kevés."

1816 nyarán több alkalommal lehetett észlelni az Európa más vidékein is megfigyelt száraz köd jelenségét, minek hatására a levegő homályossá vált és a napsugarak is alig tudtak áthatolni rajta. A ködös, átlátszatlan levegő mellett augusztusban két egészen különös optikai jelenséget is megfigyeltek Budán, melyről a következő feljegyzések számolnak be részletesen (Réthly, 1998):

„A' Nap a' déli Lineán általmenvén 3 óra tájban vékony felhőkbe (Cirrus) borult, mellyek SW, délest (délnyugat) felől közelítének. Mihent ezen felhőkre jutott, mindjárt két nagy kerék, circulus, kezdett látszani, mellyek közül egyik a' Nappal egy küllőjü (concentrikus) volt, 's Szivárvány színeket mutatván a' Naptól mindenütt 30 grádusnyira állott. E' között látszott egy szivárvány színü lapult kerék, Ellipsis, mellynek hosszabb tengelye a' circulus hasitójára, diameter (átmérő) esett. A' másik circulus sokkal nagyobb volt, melly az előbbibe bele vágott, és a' Nap felé terjedvén ottan két felől két fattyu (vak) Nap, Parhelion (melléknap) tünt szembe: harmadik fattyu Nap látszott, a' keleti oldalról, negyedik pedig a' nyugoti oldalról, mint a kettő azon circulus karimáján, melly a' Nappal egy küllőjü való, hanem az alsóbbaktól 90 grádusnyira. Ezen kívül a' fejpont, Zenith, felől volt még egy nagy iv, arcus, melly a' kerék karimáját érintette. Ez is Szivárvány színeket mutatott, valamint a fattyu

Napokban is ezen színek, de hasonlóképpen az aranyos szín látszatos volt. Midőn a' Nap nyugovóra jutott, a' fattyu Napok egyen kívül mind elenyésztek, az egyik tsak a' Nappal tünt el."

„Hasonló tünemény látszott estve a' Holddal, mellynek két fattyu Holdjai voltak: a' világoknak elevenségére nézve sokkal gyengébbek. Ezen jelenéseket az tette szembetünővé, hogy dél felől az ég felhős volt, 's a' felhőkből villámlások látszottak, az ég közepe tiszta, a' keleti része pedig sötétes felhőkel volt ellepve."

A kontinens más területeihez hasonlóan a Kárpát-medencében is szokatlanul hűvös, csapadékos és szeles időjárás jellemezte a nyári évszakot. Tokaj környékén például több alkalommal figyeltek meg tornádót. Júliusban jégesők pusztítottak az ország számos területén, és egészen augusztusig szinte alig múlt el nap eső nélkül, ezért a szántóföldi növények nagy része elpusztult. Ahol mégis beérett, ott nagyon keveset termett. A jelentős termés kiesés nyomán 1817-ben a Kárpát-medence több pontján ismét éhínség ütötte fel a fejét. A rászorulókon – Európa más területeihez hasonlóan szintén – leves- és kenyérosztással próbáltak segíteni.

„POZSONYban már januárban inség volt, ui. a drágulás – főképp a kenyérmagvakban és lisztben – augusztus óta fokozódott. A város gyűjtést indított, amely közel 40,000 frot eredményezett, ebből 1561 mérő rozst és 100 mérő árpát vettek. A lisztet kedvezményes áron adták a rászorultaknak február 1-től kezdődőleg.”
(Réthly, 1998)

Máshol pénz-, ruha és élelmiszer adományokkal, illetve a robot mérséklésével próbáltak javítani az éhezők helyzetén. Az élelmiszerválság okozta legnagyobb problémákkal Erdély belső területein kellett szembenézniük az embereknek. Itt ugyancsak ételosztással próbáltak segíteni, melyből a főnemesi családok is kivették a részüket (mint például a Wesselényi-, vagy a Bethlen-család). A rossz életkörülmények elől sokan nyugatabbi vármegyékbe vándoroltak át (Réthly, 1998; Harangi, 2010).

„Igen nagy volt az éhínség ERDÉLYben, amint arról külföldi lapok megemlékeztek. CSEREY FARKAS kamarás örnagy KRASZNÁN az általa nyújtott kölcsönökről, valamint 2234 nap robotról lemondott, 3 évre elengedte a tizedet, a heti 3 napi robotot 2-re szállította le, hogy az ínségesek talpra állhassanak. BIHARban sok volt az erdélyi éhínséges menekült, mert már 3 éve rossz termés adódott. A nagyváradi káptalan 30-40 embert látott el ruhával, élelemmel s a hatóságnak 6000 frtot adtak támogatásul. ZICHY FERENC gróf 4000 frtot osztott szét, s 1813-ban több száz pozsonyi köből vetőmagot osztott szét, fejenként 2 köblöt.” (Réthly, 1998)

Egy másik erdélyi beszámoló így ír:

„Az innen jött tudósítások a nagy szükség miatt onnan igen sokan kibujdostak; számtalan a koldus, a jobb birtoku parasztok között is nem ritkaság látni, hogy sarjút vagy füvet tejben főznek házi táplálásokra.” (Réthly, 1998)

5. Összegzés

A Tambora 1815-ben bekövetkezett kitörése és az azt követően, a Föld több pontján jelentkező élelmiszerválság jól mutatja, hogy egy hevesebb vulkánkitörés miként befolyásolhatja egyes társadalmak mindennapi életét. Mint láttuk a kitörés során légkörbe juttatott – egy laikus számára ártalmatlannak tűnő – különféle gázok (különösen a kénvegyületek) drasztikusan megváltoztathatják az éghajlati-időjárási körülmények mikéntjét: módosulhatnak a légköri áramlási viszonyok, számottevően csökkenhetnek a hőmérsékleti értékek a Föld egyes területein, illetve a csapadék idő- és térbeli eloszlásában is rendkívüli szélsőségek mutatkozhatnak. Ezek együttesen – ahogy azt az esettanulmány is igazolja – jelentős befolyással bírnak nagyobb térségek természeti és társadalmi viszonyainak alakulására.

Ebből kifolyólag meggyőződésem, hogy az oly sokat emlegetett klímaváltozás kapcsán nagyobb hangsúlyt kéne fektetni ezen természeti folyamatok éghajlat-befolyásoló hatásainak bemutatására. Ugyan drámai klimatikus következményekkel járó kitörésekre viszonylag ritkán (1000-10000 évenként) kerül csak sor, ennél kisebb, de még mindig hevesnek mondható kitörések akár néhány 100 évenként is előfordulhatnak. Bár ez utóbbiak környezetre gyakorolt hatása kisebb mértékű, mint a dolgozatban tárgyalt Tambora 1815-ös kitörése, mégis úgy vélem, az egész társadalom számára fontos és hasznos, hogy ilyen irányú ismeretekkel is rendelkezünk.

6. Irodalomjegyzék

BARÁT, J. 1962: Halo jelenségek – *Léggör* 7. éf. 2. sz. pp. 34-37.

BÉLL, B. 1958: Éjszakai világító felhők – *Léggör* 3. éf. 5. sz. pp. 1-2.

CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE (CAS) HONLAPJA:

<http://www.cas.org/newsevents/connections/volcanoes.html>

CZELNAI, R. – SZEPESI, D. 1986: Műszaki értelmező szótár 56. Meteorológia – *Akadémia Kiadó*, Bp. 596 p.

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM HONLAPJA:

<http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=0604-04=&volpage=erupt>

HARANGI, SZ. 2008: Társadalmakat megrengető vulkáni kitörések – *Természet Világa* 139. évf. II. Különszám pp. 35-38.

HARANGI, SZ. 2010: Történelemformáló nagy vulkánkitörések. – *História* 32. éf. 4. sz. pp. 10-20.

HORVÁTH, G. 1986: Fényszóródás a természetben – *Természet Világa* 1986/6 pp. 250-254.

KARÁTSÓN, D. 1998: Vulkanológia I. – Egyetemi jegyzet – *ELTE Eötvös Kiadó*, Bp. 237 p.

KARÁTSÓN, D. MEGJELENÉS ELŐTT: A belső erők hatása a felszínformálásra – Egyetemi tankönyv – *ELTE Eötvös Kiadó*

LÉGKÖROPTIKAI JELENSÉGEK HONLAPJA:

<http://legkoroptika.uw.hu>

LUKOVSKI J. 1993: Vulkánkitörésekre visszavezethető anomáliák Magyarország hőmérsékleti, csapadék és cirkulációs adatsoraiban – Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék, 55 p.

MAGYAR ŰRKUTATÁSI IRODA HONLAPJA:

<http://www.hso.hu/page.php?page=113>

MAJOR, J. 1980: Érdekes és látványos meteorológia jelenségek – *Légkör* 25. éf. 2. sz. pp. 31.

MAKRA, L. – UNGER, J. 2011/2012: Környezeti klimatológia – egyetemi előadás, Szegedi Tudományegyetem
www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/folia05.pdf

NEWHALL, C. G. – SELF, S. 1982: The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism – *Journal of Geophysical Research* 87. éf. C2. sz. pp. 1231-1238

OPPENHEIMER, C. 2003: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815 – *Progress in Physical Geography* 27. pp 231-259.

PAPP, Z. 1986: Vulkánkitörésekre visszavezethető anomáliák Magyarország hőmérsékletváltozásaiban – *Földr. Közl.* 1986/4. pp. 324-345.

PAPP, Z. 1988: Vulkánkitörésekre visszavezethető anomáliák Magyarország csapadékmennyiségének időbeli eloszlásában – *Hidrológiai Közlöny* 68. éf. 3. sz. pp144-151.

- PAPP, Z. 2001: A vulkanizmus hatása az időjárásra, különös tekintettel a Kárpát-medencére – PhD Értekezés, Miskolci Egyetem, 165 p.
- RAMPINO, M. R. – SELF, S. – STOTHERS, R. B. 1988: Volcanic Winters – *Science* 16. pp. 73-99.
- RÉTHLY, A. 1998: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801-1900-ig I. kötet – OMSZ, Bp. 616 p.
- STOTHERS, R. B. 1984: The Great Tambora Eruption in 1815 and Its Aftermath – *Science* 224. pp. 1191-1198.
- THOMAS, E. 2004: Volcanoes and Climate – egyetemi előadás, Wesleyan Egyetem, Middletown, Connecticut
<http://ethomas.web.wesleyan.edu/ees123/handout1115.htm>
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS) HONLAPJA:
a) <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/index.php>
b) <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/climate.php>
- VASOLD, M. 2000: Der Ausbruch des Tambora (Indonesien) im April 1815 und die Agrarkrise in Europa 1816/17 – *Geographische Rundschau* 52. éf. 12. sz. pp. 56-60.

Ábrajegyzék

1. A robbanásos vulkánkitörések klimatikus hatásának magyarázata (Karátson, megjelenés előtt)
2. Vulkáni naplementék
 - a) Landy-Gyebnár Mónika, 2008, Paloznak, Magyarország
(http://hirek.csillagaszat.hu/aktualis_egi_esemenyek/20080901-kasatochi.html)
 - b) Robert Hoetink, 2010, Enschede, Hollandia
(<http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20100416-eyjafjoll-vulkan-vorosre-festi-a-legkori-por-a-naplementet.html>)
3. Halojelenségek
 - a) Halo a Nap körül (Szabó Sándor, 2009, Győr, Magyarország)
(http://www.kisalfold.hu/gyori_hirek/erdekes_jelenseg_mely_a_szivarva_ny_szineiben_pompazott/2098555/)
 - b) Halo a Hold körül (Goda Zoltán, 2007, Decs, Magyarország)
(<http://legkorooptika.uw.hu/>)
4. Halojelenségek egyéb típusai
 - a) Jobb oldali melléknapp (Goda Zoltán, 2006, Baja, Magyarország)
(<http://legkorooptika.uw.hu/>)
 - b) Jobb oldali melléknapp (Goda Zoltán, 2004, Decs, Magyarország)
(<http://legkorooptika.uw.hu/>)
 - c) Felső érintőív (Gyebnár Mónika, 2006, Veszprém, Magyarország)
(<http://legkorooptika.uw.hu/>)
 - d) Komplex halo: 22°-os halo, felső érintőív, jobb és bal oldali melléknapp (Goda Zoltán, 2007, Baja, Magyarország)
(<http://legkorooptika.uw.hu/>)

5. Koszorújelenségek

- a) Goda Zoltán, 2007, Baja, Magyarország
(<http://legkoroptika.uw.hu/>)
- b) Farkas Alexandra, 2007, Mogyoród, Magyarország
(<http://legkoroptika.uw.hu/>)

6. Bishop-gyűrűk

- a) Peter-Paul Hattinga Verschure, 1991, Németország
(http://ismeret.virtus.hu/?id=detailed_article&aid=40912)
- b) Gyebnár Mónika, 2008, Veszprém, Magyarország
(<http://legkoroptika.uw.hu/>)

7. Világító felhők

- a) Gyebnár Mónika, 2007, Veszprém, Magyarország
(<http://legkoroptika.uw.hu/>)
- b) Veres Viktor, 2007, Magyarország
(<http://erdekesegekhirek.blogspot.com/>)
- c) Goda Zoltán, 2007, Baja, Magyarország
(<http://legkoroptika.uw.hu/>)

8. A Tambora földrajzi elhelyezkedése

(<http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=0604-04=&volpage=var>)

9. A Tambora kalderája

- a) Laurie K. Gilbert
(<http://www.aerialmarine.com/the-year-without-a-summer-tambora>)
- b) Laurie K. Gilbert
(<http://www.aerialmarine.com/the-year-without-a-summer-tambora>)

10. A Tambora kitörését követő globális sztratoszférikus és felszíni hőmérsékletváltozások modellje (Oppenheimer, 2003 alapján)
11. Rekonstruált felszíni hőmérséklet-anomáliák az 1816-os nyárra (Oppenheimer, 2003 alapján)
12. Évi átlaghőmérséklet értékek átlagtól való eltérése Budapest és Bécs esetében 1810-1826 között (Papp, 2001 nyomán)