

FÖLDI KATASZTRÓFÁK

Bill McGuire:
A Guide to the End of the World
(Everything you never wanted to know)
Oxford, University Press, 2002
alapján összeállította:

Szarka László
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet,
NYME Földtudományi Intézet,
Sopron (szarka@ggki.hu)

ELŐSZÓ (Kivonatos ismertetés)

Tudományos tény, hogy a Nap mintegy ötmilliárd év múlva – üzemanyagának fogytán – ún. „vörös óriássá” duzzad fel és ekkor a Földet is el fogja égetni. Addig azonban számos más: technológiai, biológiai vagy geofizikai (földtani illetőleg éghajlati) katasztrófa is bekövetkezhet, amely az emberiség számára a világvégét jelentheti. Ebben az összeállításban a geofizikai jellegű katasztrófa-lehetőségeket vesszük számba.

Szerencsések vagyunk, hogy viszonylag nyugodt éghajlati és földtani viszonyok között élhetünk. Az új évszázad vége felé azonban a klimatikus kilátások sokkal rosszabbak: drámai hőmérséklet-növekedésnek és tengervíz-emelkedésnek nézünk elébe, de Európa északnyugati részére ugyanakkor nagymértékű lehülés vár.

A lehetséges geofizikai katasztrófák egyaránt lehetnek földi és Földön kívüli eredetűek. Íme néhány példa:

- az utolsó nagy vulkáni szuperkitörés 73500 éve a Földre vulkanikus telet hozott, elpusztítva az élővilág jelentős részét;
- 65 millió éve egy 10 km-es kisbolygó (aszteroida) csapódott be a bolygóba, és valószínűleg emiatt haltak ki a dinoszauruszok;
- Krisztus születése előtt csaknem ezer évvel rengeteg város dőlt romba földrengések következtében.

A könyv a lehetséges geofizikai (a földtani és éghajlati) katasztrófákat veszi számba.

ELŐSZÓ A MAGYAR VÁLTOZATHOZ

Bill McGuire (a londoni University College geofizikus professzora, az egyetem Benfield Grieg Kockázatelemző Kutatóközpont igazgatója, a brit médiában ismert földtudományi szakértő, több népszerűsítő könyv szerzője) „Útikönyv a Világ végéhez” című („Minden, amit eddig soha nem akartál tudni” alcímű) könyvét (Oxford, University Press, 2002) 2004 őszén, a londoni Heathrow repülőtéren vettem meg, de csak karácsonykor, a délkelet-ázsiai szökőár hírére vettem elő. A „művelt” Nyugat általában egy vállrándítással szokta elintézni a Föld távoli pontjain bekövetkező természeti katasztrófákat, de most úgy tűnik, a háromszázezernél is több áldozatot követelő tragédia mélyen megrázta a világot. McGuire vitákat kiváltó műve jó szolgálatot tesz annak érdekében, hogy Földünk sebezhetőségéről a jövőben ne feledkezhessünk meg.

A magyar változat az eredeti szöveg összefoglaló fordítása. Megismertetését geofizikusként azért is szorgalmazom, mert kiválóan érzékelteti a földtudomány társadalmi jelentőségét, ezáltal jól illeszkedik a Föld Bolygó Nemzetközi Éve (International Year of Planet Earth) 2005-2007 nevű, világméretű akció közönségszolgálati programsorozatába, amelyben – többek között – a soproni MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet és a NYME Földtudományi Intézet is részt vesz.

Az egyes fejezeteket a tárgyalt témakörrel kapcsolatos magyar nyelvű olvasmányra történő hivatkozás zárja.

A Föld működésének, a geo-környezetnek a megértése nélkül környezettudományról sem lehet beszélni. A magyar változat ezért a Nyugat-Magyarországi Egyetemen a *Bevezetés a környezettudományba* és a *Környezetünk a Föld* c. tantárgyakban kötelező olvasmány lett a környezettudományi szakos és az egyéb hallgatók számára. Az egyetemi hallgatók számára a könyv elolvasása mellett elengedhetetlen, hogy elmélyüljenek az itt nem tárgyalt fizikai alapokban és a kapcsolódó földtudományi elméleti ismeretekben is.

1. A FÖLD: RÖVID BEVEZETÉS

1.1. Veszély = a természet működés közben

A Föld csakugyan rendkívül sebezhető. Tele van veszéllyel. Bolygónk nem más, mint egy darabka kő, amely száguld az űrben. Mozog a kérge, és – amint a földfizikai és pályakörülmények megváltoznak – drámai éghajlati változásoknak is ki van téve.

Jelenleg – alig 10 ezer évvel a legutóbbi jégkorszak vége után – a Föld az eddig csaknem legmelegebb időszakát éli. A modern társadalom ugyanakkor a bolygót igen sérülékennyé tette. Földünk a Naprendszer legdinamikusabb bolygója, és ennek a dinamizmusnak köszönhető a napszél ellen védő mágneses tér, a légkör, az óceánok, teljes életünk. E dinamizmus ugyanakkor a földtani veszélyek forrása is: elég, ha a vulkánkitörésekre, árvizekre gondolunk.

1.2. A Föld rövid életrajza

A Föld mintegy 4.6 milliárd éves. Ezt a szinte beláthatatlanul hosszú időintervallumot egy 3 és fél körös 1500 méteres – egyenletes sebességű – síkfutásra vetítve a Föld az első körben becsapódó kisbolygók és vulkánkitörések romhalmaza volt. A második körben a bolygó elkezdett hűlni, rajta óceánok alakultak ki és megjelentek az élet első jelei. A Kambrium, amely az élet kipattanásának geológiai periódusaként ismert, a futóverseny-analógiánkban csak a célegyenesben kezdődött el. A célszalag előtt 25 m-re tehető a dinoszauruszok kihalása. Az ember a képzeletbeli futóverseny legutolsó centimétereiben jelent csak meg.

Az élő szervezetek számára a földi környezet – mintegy egymilliárd évvel ezelőtti megjelenésük óta – folytonos veszélyt is jelent. A mai természeti erők és veszélyek a Naprendszer kialakulásának idejére visszanyúló gyökerekkel rendelkeznek. A Föld kezdetben egyike volt annak a szerencsés kilenc kódarabnak, amelyek – magukévá téve az űrben keringő sok trilliónyi űrtörmeléket – egyre növekedhettek. Egyre erősebb gravitációs terük a növekedési folyamatot (az ún. „akkréciót”) tovább gyarapította. A bolygók kialakulását követően a Naprendszer sokkal zavartalanabb hely lett, de az ütközések a kisbolygókkal (az ún. aszteroidákkal) és az üstökösökkel továbbra is folytatódtak. E fenyegetettség ma sem múlt el: mai ismereteink szerint mintegy

háromszázra tehető azoknak az aszteroidáknak a száma, amelyek valamikor túl közel kerülhetnek a Földhöz.

A kezdeti Föld a pokol képzetét idézi fel: volt idő, amikor mintegy 400 km mély magmaóceán borította. A belső radioaktivitás és a becsapódások akkora hőt termeltek, hogy a Föld felszínének hőmérséklete kb. 5000°C lehetett. A hideg úrben a magmaóceán felszíne egyszercsak elkerülhetetlenül megszilárdult, de a kis sűrűségi szilikátokból álló kéregdarabok – a folytonos belső áramlások következtében – újra és újra megolvadtak. Mintegy 2.7 milliárd éve sikerült csak tartós kéregnek kialakulnia, amely fokozatosan vastagodni kezdett. A kéreg ezután sem képezett egybefüggő páncélt: darabjai – ugyanúgy, mint manapság – kőzetlemezekként vonszolódtak a lomha köpenyáramlás hatására.

Eközben a nehéz elemek – főleg a vas és a nikkel – lassanként középre süllyedtek, és kialakították a Föld szilárd fémmagját, de a nagy nyomás és hőmérséklet miatt a külső mag nem tudott megszilárdulni. A folyadékszerű külső mag az egész Földdel együtt forogni kezdett, és e folyamat következtében a Földnek mágneses tere alakult ki. (E mágneses tér védi meg a földi életet a pusztító külső sugárzástól, és a mágneses tér segít sok fajt – és segítette elődeinket is – a tájékozódásban.)

A legutóbbi 1-2 milliárd évben a Föld szerkezete és geofizikai tulajdonságai már nem változtak drámaian. Az állandóan képződő radioaktív hő a földköpenyben áramlásokat tart fenn, és ezek az áramlások mozgatják a kéregből, valamint a köpeny legfelső, szilárd részéből álló kőzetlemezeket (az ún. litoszféra-lemezeket). E mechanizmus jelenti a lemeztektonika alapját.

A legtöbb földrengés ezeknek a litoszféra-lemezeknek az érintkezései mentén alakul ki. A lemezhatárok lehetnek konzervatívak (amikor a két szomszédos lemez úgy lökődik egymást, hogy el-elcsúsznak egymás mellett), destruktívak (amikor az egyik lemez – alábukva a másiknak – megsemmisül), és konstruktívak (ahol – az óceánközépi hátságok mentén – friss magma jön fel a köpenyből és megszilárdul). A lemezek (mint megannyi tutaj) vég nélküli mozgása (a körömnövekedéssel nagyjából azonos ütemű keletkezése és elmúlása) következtében bolygónk felszíne állandó változásban van, és e változásnak a földrengések és vulkánok állandó kísérőjelenségei.

1.3. A kockázatos Föld

A vulkánkitörések és földrengések tehát kifejezetten belső eredetűek. A Föld légkörét és a víz körforgalmát azonban leginkább a Naptól érkező energia határozza meg.

- A tengeri szökőár („cunami”) okai összetettek. Eredhetnek tenger alatti földrengésekből, vulkánkitörésekből, de földcsuszamlásokból is. A földcsuszamlásokat részben földtani, részben időjárási tényezők okozzák, amennyiben a heves esőzések meggyengítik (destabilizálják) az egyébként is gyenge lejtőt.

- Az özvízszerű esőzések, árvizek is igen gyakoriak, évenkénti számuk a Földön szinte megszámlálhatatlanul nagy.

- A geológiai eredetű kockázatok közül a földrengések jelentik messze a legnagyobb veszélyt. 2004. december 26-án 9.0 magnitúdójú földrengés okozta a több mint háromezerezer emberéletet követelő csendes-óceáni szökőárt. Már egy 6-os magnitúdójú földrengés is pusztító lehet, különösen egy rosszul megépített házakból álló zsúfolt városban. Kimondhatjuk, hogy nem a földrengéseknek, hanem az épület-összeomlásoknak vannak áldozatai. 2001. januárjában például az indiai Bhuj régióban kipattant földrengésben 400 ezer épület pusztult el, és ez 100 ezer ember halálát okozta.

- A működő vulkánok száma a Földön 1500-3000. Néhány közülük állandóan aktív: átlagosan hetente van egy vulkánkitörés. A legrombolóbb vulkánok destruktív lemezhatárok mentén fekszenek. Ezek nem látát bocsátanak ki, hanem hatalmas mennyiségű hamut és törmelékkel löknek ki magukból, akár 20 km-es magasságba. 30 cm-es vulkáni hamuréteg már elég a háztetők összeroppantásához. A száraz hamu légzési nehézségeket és szilikózist okozhat. A vulkáni törmelékekből pusztító i-szapfolyam indulhat el. Ritkább, de annál pusztítóbb jelenség a tüzes lavinaként is ismert ún. piroklasztikus folyam. A vulkáni fenyegetettség sora ezzel még nem ér véget: a vulkáni lejtőkről lezúduló anyagmennyiség szökőárt indíthat el, a mérgező gőzök és gázok ezreket ölhetnek meg. A vulkáni gázok – felkerülve a sztratoszférába – képesek elrontani a földgömb túlsó felén is az időjárást, sőt akár globális kiterjedésű hideget (ún. vulkanikus) telet is okozhatnak a Földön.

- A földcsuszamlások jelentőségét meglehetősen alábecsülik, pedig 1556-ban egy földcsuszamlás (amit földrengés váltott ki) pusztított el Kínában 800 ezer embert.

- A végső – és talán a legnagyobb – fenyegetettség az űrből adódik. Noha a Föld – űrtörmelék-darabok általi – állandó bombázása megszűnt, az aszteroidák és az üstökösök továbbra is veszélyt jelentenek Földünkre nézve. Körülbelül egezer olyan 1 km-es átmérőt meghaladó kisbolygót ismerünk, amelyeknek a pályája keresztezi a Föld pályáját. (A Földre becsapódó idegen test méretében 1 km az a küszöbérték, amely esetén – a sztratoszférába jutó és a fotoszintézist leállító kozmikus por miatt – kozmikus tél alakulna ki.) A Shoemaker-Levy üstökös Jupiterbe csapódásakor (1994-ben) komolyan felmerült az aggodalom: mi történt volna, ha történetesen a Föld az áldozat? (Ezen írás készítése közben, 2004. december 28-án közölték, hogy a 2004MN4 nevű üstökös 2029. április 13-án bizonyosan nem ütközik a Földdel.)

1.4. A természeti kockázatok és az ember

A München Re. német biztosítótársaság adatai szerint a második évezred során 15 millió ember pusztult el természeti katasztrófák következtében, és ebből 3 és fél millió a 20. században!

A 20. század három utolsó évtizedében különösen sok volt a természeti katasztrófa. Sajnos – miközben egyre többet tudunk a természeti katasztrófák működési mechanizmusáról és következményeiről – a Föld növekvő sérülékenysége miatt tudásunk haszna nemigen látszik. A sérülékenység nagyrészt onnan ered, hogy a világ népessége 1960 és 2000 között megduplázódott és a növekmény túlnyomó része éppen a természeti katasztrófáktól leginkább sújtott, szegényebb térségekből származik.

A sérülékenység megnövekedését az urbanizáció is okozza. Néhány éven belül több ember fog városi környezetben élni, mint vidéki viszonyok között! Különösen az alkalmatlan helyen lévő, rosszul felépített és rohamosan növekvő lélekszámú, ún. „megaváros”-okban lakók vannak nagy veszélynek kitéve. (2015-ben Tokió várható lélekszáma csaknem 29 millió, Bombay-é (Mumbai-é) 27 millió, Lagosé 25 millió.)

Fel kell készülni arra, hogy a sérülékenység további növekedése (a népességszám, illetve az urbanizáció miatt) drámai éghajlatváltozás közepette fog végbemenni. Olyan átalakulások elé nézünk, amelyhez foghatót talán tízezer éve nem látott a Föld. A következő száz évben 80 cm-es tengersizint-emelkedés és 6°C-os globális hőmérséklet-emelkedés várható. Mindezek következtében szélsőséges időjárási eseményeknek leszünk tanúi és elszenvedői. A földtani és meteorológiai katasztrófák eshetőségét a további fejezetekben részletezzük.

Magyar nyelvű olvasmány:

Természeti és ember okozta katasztrófák. Mindentudás Egyeteme Klubbeszélgetés, 2005. január 26. (Meskó Attila, Farkas István, Mersich István, Tóth László) <http://www.mindentudas.hu/klub20050126/index.html>

2. GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS

2.1. Vita, de miről?

Kétség nem férhet hozzá, hogy a Föld felmelegedése egyre gyorsul. Hatalmas vita folyik azonban arról, hogy ez a globális felmelegedés természetes eredetű-e, vagy az emberi tevékenység hatásának tulajdonítható-e. A szerző felelőtlennek ítéli a viták további folytatását, hiszen a tények cáfolhatatlanul igazolják, hogy a Föld jelenlegi felmelegedéséért igenis az emberi tevékenység a felelős. A legforróbbnak nyilvántartott 16 nyár közül tizenöt 1980 után következett be, és a Föld ma melegebb, mint 4.6 milliárd éves történetének legnagyobb részében volt. A 21. század végére az átlaghőmérséklet 150 ezer éve nem tapasztalt szintre emelkedhet!

A növekvő hőmérséklet nem tekinthető sem az éghajlat szeszélyének, sem a napsugárzás intenzitásváltozásának. Mindez az elmúlt két évszázad légszennyezésének következménye. A tizennyolcadik század vége óta egy olyan gigantikus kísérletet folytat az emberiség, amelynek következményeit még csak nem is sejtjük. Szerencsétlenségünkre a folyamat már a szabályozhatatlan fázisba lépett, következőképpen nem lehet az egyik pillanatról a másikra leállítani. Ha most sikerülne is stabilizálni az üvegházhatású gázok kibocsátását, a hőmérséklet és a tengerszint-emelkedés még évszázadokon át folytatódna. Korunk nagy kérdése az, hogy megpróbálunk-e tenni valamit, vagy megfutamodunk a probléma elől és hagyjuk, hogy „utánam a vízözön”?

2.2. A nagy globális felmelegedési kísérlet

A sarki jégtakaró fűrómag-mintáinak vizsgálatából tudjuk, hogy az üvegházhatású gázok koncentrációja a legutolsó jégkorszak végétől egészen az iparosításig meglehetősen állandó érték (280 ppm) körül ingadozott. Azóta azonban a CO₂-szint 30 százalékkal (kb. 380 ppm-re), az egyéb üvegházhatású gázok koncentrációja pedig ugrásszerűen nőtt. (A légkör szénmonoxid-tartalma például 420 ezer éve nem volt ilyen magas.) E gázok a levegőben a napsugárzást átengedik, a Föld felszínéről visszaverődő alacsonyabb frekvenciájú hősugárzást pedig nem. A Föld jó ideje ennek az üvegházhatásnak a következményeként melegszik.

Vegyük számba a felmelegedés folyamatának számos összetevőjét!

A Nap 11.5 éves periódusú ciklusa (az ún. „napfoltciklus”) során a sugárzás mindössze 0.1 százalékot ingadozik. A földtörténet során a naptevékenységnek azonban – bizonyos periodicitással – ennél nagyobb változásai is voltak, és ezek jelentős szerepet játszhattak a Föld akkori lehűléseiben és felmelegedéseiben.

A vulkánkitörések is jelentős hatást gyakorolhatnak az éghajlatra, mégpedig azért, hogy hatalmas mennyiségű kéndioxidot és más kénés gázokat ontanak ki magukból, és ezek a sztratoszférába kerülve jelentősen lecsökkentik a napsugárzást a Föld felszínén. (A kb. 1450-től a 19. század végéig tartó ún. „kis jégkorszakot” valószínűleg a némileg csökkent naptevékenység és a megnövekedett vulkáni aktivitás okozta.)

A globális hőmérséklet 1861-től kezdve növekvő trendet mutat, és a növekedés különösen 1990 óta kiugróan magas.

Nagy kísérletünk a Földdel nem más, mint az emberiség állandó többlet akarásának mellékhatása. Mára már nyilvánvalóvá vált, hogy a kísérletet be kell fejezni. A folyamatos politikai vonakodás és a felmelegedés csillapítását javaslókkal kibékíthetetlen ellentétben álló érdekcsoportok tudományos mezbe öltöztetett ellenkezése azonban a kiotói egyezmény elhalásához vezetett. *(Megjegyzés: a kiotói egyezmény – Oroszország csatlakozását követően – 2005. február 16-án jogilag érvénybe lépett.)* Még ha elérnék is az 1990-es szinthez képest kitűzött 5.2 százalékos csökkentést az üvegházhatású gázok kibocsátásában 2008-2012 között, ennek vajmi kevés hatása lesz a további folyamatokra. Észrevehető hatást csak egy azonnali 60 százalékos csökkenés esetén lehetne elérni. A hőmérséklet és a tengerszint – a rendszer nagy tehetetlensége miatt – még ebben az esetben is növekedne egy jó ideig. Elkerülhetetlennek tűnik tehát a drámai környezeti változások bekövetkezése. Néhány paraméter kedvezőbbre fordul, de a legtöbb nem. Gyermekeink és az ő leszármazottaik már egy egészen más Földet fognak itt találni.

2.3. Az üvegház-Föld

2100-ban a Föld nem csupán melegebb lesz, de az időjárás is szélsőségesebbre fordul. A vadul váltakozó időjárás a fejlődő világ egyre növekvő sérülékenységgel fog párosulni. A meteorológiai katasztrófák éves száma az 1996 előtti évi 200-ról 2000 után évenként 400-ra nőtt.

A halálhozó áradások egyre gyakoribbá válnak. Ugyanakkor egyre többen fognak éhezni, mivel Afrika és Ázsia egyre nagyobb részén a szárazság lesz az uralkodó. A növekvő meleg egyre több nagy vihart fog

indukálni, különösen a trópusokon. Egy - több mint ezer kutató teljes egyetértésével készült - 2600 oldalas jelentés lényege az alábbiakban foglalható össze: „Ugye azt mondtuk az 1995-ös jelentésünkben, hogy a dolgok rosszra fognak fordulni? Nos, tévedtünk. A dolgok még annál is rosszabbra fordulnak majd.”

A 20. században a globális átlaghőmérséklet 0.6°C -kal nőtt. A 21. század végére – a legrosszabb lehetőség szerint – 6°C -os átlaghőmérséklet-növekedés várható, de az előrejelzések átlaga is 4°C -os növekedést jelez. Vegyük figyelembe, hogy a jégkorszaki és a mostani átlaghőmérséklet között a különbség mindössze $4\text{-}5^{\circ}\text{C}$! Minden okunk megvan annak a feltételezésére, hogy a jégkorszak utáni hőmérsékletemelkedés megduplázódása drámai következményeket von maga után. A sarki jég máris jelentősen elvékonyodott, kiterjedése $10\text{-}15\%$ -kal kisebb a 40 évvel ezelőttinél, és a számítások szerint a sarkokon és a hegyvidékeken a melegedés az átlagosnál nagyobb értékű (kb. 8°C -os) lesz.

A hó és a jég olvadása növekvő tengerszinteket jelent: 2100-ra $40\text{-}80\text{ cm}$ -rel magasabb tengerszintek várhatók. Ha tényleg nem sikerül visszafogni az üvegházhatású gázok kibocsátását, a tengerparti területekre végzetes sors vár. (Képzeljük el: 3000-re például 6 m -es tengerszint-növekedést jósolnak.)

Az óceánok igen lassan válaszolnak a külső hatásokra. Úgyhogy ha a CO_2 -koncentráció a légkörben a jelenlegi szinten is maradna, a tengerszint-emelkedés legalább ezer évig tovább folytatódna.

A szélsőségesen csapadékos időjárási események száma négy százalékkal megnőtt a közepes és a nagy földrajzi szélességeken is. A jelenlegi tendenciák további erősödése várható: vagyis a nedvesebb területeken még több csapadék esik majd, a szárazabbakon pedig fokozódik a szárazság. Erősödnek a hurrikánok. Még nagyon kevesen vannak, akik kimondják: a hurrikánokat is egyértelműen a globális felmelegedés okozza. A globális felmelegedés ugyanis melegebb tengereket is jelent, amelyek egyre nagyobb és egyre gyakoribb viharokat fognak gerjeszteni. A nagyobb viharok nagyobb hullámzást idéznek elő. (Az Egyesült Királyság délnyugati partjainál a legnagyobb hullámok amplitúdója máris 3 m -rel nőtt.) Emiatt a partok eróziója jelentősebbé válik.

Gyakoribb lesz az El Niño-jelenség (amely az évszakok után az éghajlat második legjelentősebb megnyilvánulása). El Niño idején a nyugati irányú szelek elgyengülnek és emiatt a Csendes-óceán keleti partvidékén jelentősebben melegebb lesz a tengervíz. Mindez hatással van a teljes Föld

éghajlatára. Ennek a különösen alattomos jelenségnek a gyakorisága 1970 óta jelentősen megnőtt.

A Föld felmelegedésére a földkéreg egyre több földcsuszamlással reagál, különösen a hegyvidékeken. A hegyek felmelegedése (a svájci St. Moritz-ban például a legutóbbi 15 évben 0.5°C) következtében a hegyoldalak meggyengülnek (destabilizálódnak): lavinák, de még gigantikus földcsuszamlások is lehetségesek.

A természeti katasztrófák egyre inkább mindennaposá válnak. Mindezek következtében a gyenge pontokon – mint például a mezőgazdaság, vízellátás, vadgazdaság – megkezdődhet az emberi társadalom felbomlása, és az ember egészsége is veszélybe kerül. A szaporodó népesség, a csökkenő bevételek, a növekvő szennyezés következtében a globális felmelegedés hatása igen szörnyű lehet. Az élelemért és a vízért folytatott küzdelem gigantikus népvándorlást indíthat el, amely a világ sok pontján konfliktusokhoz fog vezetni.

Európában és Ázsiában a fák egy héttel előbb rügyeznek, mint 20 évvel ezelőtt, és az őszi levélhullás is 10 nappal később érkezik. E tény lehet, hogy hasznosnak látszik, de kétségtelen, hogy ma még beláthatatlan növény- és állatvilági változásokat is magával hoz.

A városokban az egyre forróbb nyarak és a növekvő szennyeződés kihatással lesz az egészségre. A hőmérséklet nagymértékű növekedésével a trópusi őserdők is kihalhatnak és ez sok állatfaj kihalását hozza magával. Az összes ökoszisztéma harcolni fog a túlélésért és az alkalmazkodásért, de ez sokuknak nem fog sikerülni. A télisportok kilátásai – a hóesés csökkenésével, a gleccserek eltűnésével – igencsak sötétek. A fajok sokfélesége (az ún. biodiverzitás) jelentősen lecsökken.

A hőmérséklet emelkedése több vulkánkitörést, földrengést is hozhat magával. Ez meglepően hangzik, de a jégtömegek megolvadása miatt megváltozhat a kéregterhelés eloszlása, és ez – egyes vélekedések szerint csakugyan kiválthat (triggerelhet) vulkánkitöréseket és földrengéseket.

Jelentős mennyiségű további gáz is felszabadulhat a földkéregből a további melegedés hatására. Például a tengeri üledékekben felhalmozódott gázhidrát (jég-kinézetű, szilárd halmazállapotú metán), amelynek halmazállapota igen érzékenyen függ a nyomástól és hőmérséklettől. Mindez további tenger alatti földcsuszamlásokat okozhat, amely egészen bizonyosan szökőárak forrása.

A globális felmelegedés további akadálytalan folytatódása esetén tehát elkerülhetetlenül további izgalmas fejleményekkel kell szembe néznünk.

2.4. A jó, a gonosz és az örült

A folyamatokat már nem állíthatjuk meg, csak csillapíthatjuk hatásukat. Miután a kiotói egyezményt az USA (valamint Ausztrália és Kanada) nem ratifikálta, a 2008-2012 között eltervezett 5.2 %-os csökkenés helyett – változatlan „üzletmenet” esetén – 12 %-os növekedés várható az üvegházhatású gázok kibocsátásában.

Egyre többet hallani az üvegházhatású gázok technológiai mérsékléséről. Ezek között olyan vad és ostoba ötletek is felbukkannak, mint hatalmas hővisszaverő felületek elhelyezése az űrben, vagy a Föld mellett elhaladó üstökösök gravitációs terének révén a Föld pályájának távolabb helyezése a Naptól. Sikeres kísérletek folynak a légköri széndioxid egyszerű óceánba pumpálására, illetve ottani megkötésére mikroorganizmusok révén. A légkör némi javításának – úgy tűnik – az óceánok elrontása az ára.

Semmi kétség, hogy a mai ide-oda szállítató társadalom helyett olyan jövőbeni társadalom a kívánatos, amely helyben elérhető energiákra és nyersanyagforrásokra épít.

Az üvegházhatású gázok kibocsátásának stabilizálására (és reménybeli csökkentésére) ma még csak a kiotói egyezmény elhalását követően született C&C („Contraction and Convergence”) egyezmény életbe léptetése (az ún. „széndioxid-kereskedelem”) nyújtja az egyetlen – halovány – reményt.

Magyar nyelvű olvasmány:

Czelnai Rudolf: Légkör és óceán (Nem ismerjük a Földet). Magyar Tudomány, 1997, 10. szám.

Természet Világa 2004. évi II., „Klímaváltozás, hazai hatások” c. különszáma

3. A JÉGKORSZAK

3.1. Tűz vagy jég?

1980 előtt az éghajlatkutatók jellemző kérdése még az volt, hogy mikor kezdődik a következő jégkorszak. Azóta csak annyi változott, hogy az ember által okozott (ún. „antropogén” eredetű) felmelegedés és ennek éghajlati hatásai esetleg szerepet játszhatnak abban, hogy tízezer évnyi meleg (ún. „interglaciális”) időszakot követően hogyan történik a következő jégkorszakba való átmenet. Vannak, akik azt mondják, hogy a felmelegedés késleltetheti, esetleg teljesen ki is védheti a következő jégkorszakot. Mások szerint azonban a drámai felmelegedés éppenséggel meggyorsítja az átmenetet az új jégkorszakba.

3.2. Hogyan lehet egy bolygót megfagyasztani?

A földtörténet legnagyobb része során a hőmérséklet általában nem sokkal különbözött a mostani állapotoktól. Időnként azonban – látszólag váratlanul – olyan körülmények alakultak ki, amelyek hatalmas jégtakarók kialakulásához vezettek. A legutolsó jégkorszakról (a mamutok barangolásáról, az állatbőrt viselő őseinkről) vannak némi ismereteink. Nem olyan régen vált ismeretessé, hogy a földtörténet során volt olyan időszak is (a kb. 600-800 millió évvel ezelőtti ún. kriogén), amikor a Föld egy fagyott hógolyónak látszott. A Földre ekkor 6 százalékkal kevesebb napsugárzás jutott el és az üvegházhatású gázok elégtelen koncentrációja miatt ezt a hőt a bolygó nem tudta megtartani. A jég a két sarkvidékről kiindulva gyors ütemben növekedett, mígnem 1 km-es vastagságot ért el a mindent beborító jégpáncél. Mivel a vakítóan fehér jég visszaverte a napsugárzást az űrbe, a felszíni hőmérséklet -50°C körülire csökkent. Valami azonban történt, ami megtörte a jég uralmát. Mai ismereteink szerint egymás után hat alkalommal alakult ki „hógolyó”-feltétel, és a melegebb éghajlat mindannyiszor visszatért.

A felmelegedések magyarázata minden bizonnyal a vulkáni tevékenységben rejlik. Ennek révén elegendő mennyiségű üvegházhatású gáz kerülhetett ki a légkörbe ahhoz, hogy a jégpáncél elolvadhasson.

Az élet robbanásszerű elterjedése a Földön a legutolsó globális eljegesedést követően (565 millió éve, a kambriumban) kezdődött el. A negyedidőszaki – a kriogénhez képest jelentéktelen – eljegesedéshez köthető az ember megjelenése.)

Mintegy 10 millió éve, a miocénben is eljegesedett a Föld, és 3 millió éve újra elkezdődött a jég terjedése. Nem tudni pontosan, mi volt ezeknek az eljegesedéseknek az okozója. A legutóbbi 2 millió évben körülbelül 20 alkalommal volt kisebb-nagyobb jégkorszak és csak találgatni lehet, hogy vajon a Himalája kiemelkedése miatt megváltozott légköri folyamatok, vagy a Panama földnyelv megjelenése miatt megváltozott óceáni áramlások voltak-e a kiváltói.

A Milankovich-féle elmélet a periódikusan visszatérő jégkorszakokat a Föld pályájának, tengelydőlésének lassú változásaival és a tengely imbolygásával (precessziójával) hozza összefüggésbe. A Föld tengelydőlése jelenleg 23.5° , de ez az érték időben nem állandó. Miközben a Föld 23-26 ezer éves periódusidővel lassú precessziót végez, ezalatt a tengelydőlés $22-25^\circ$ között váltakozik. Mindannyiszor, amikor a tengelydőlés kicsi, a sarkvidékek kevesebb napsugárzást kapnak. Emiatt felgyorsul a jég növekedése, és a mind nagyobb kiterjedésű jégfelszín egyre hatásosabban veri vissza a napsugarakat. A jégkorszakok valószínűleg mind így, ezzel az öngerjesztő folyamattal kezdődtek. Nagyobb tengelydőlés esetén az évszakos változás hangsúlyosabb, és a nyári felmelegedés mindig gondoskodik arról, hogy a jégtakaró csak a sarkvidékeken maradjon meg. Azt is figyelembe kell venni, hogy a Föld a Nap körül ellipszispályán mozog, amely pálya alakja – 100-400 ezer éves periódussal – szintén váltakozik. 11 ezer éve a pálya Naphoz legközelebbi pontja éppen júliusra esett, és az emiatt intenzívebb nyári felmelegedés az északi féltekén meggyorsíthatta a jégkorszaki jég olvadását.

A Milankovich-elmélet elég jól magyarázza a jégkorszakok periodicitását, de nem ad választ arra a kérdésre, hogy huzamosabb időn keresztül miért maradt el az eljegesedés. A magyarázat valószínűleg a légkör változó széndioxid tartalmában rejlik. 300 millió éve a CO_2 tartalom kb. 1600 ppm volt, és ez az érték az ipari forradalom előtti időkig folyamatosan csökkent, kb. 300 ppm-nyire. Körülbelül 400 ppm-nyire tehető az a küszöbérték, amelynél ha kisebb a széndioxid-tartalom, az üvegházhatás nem elég erős a Milankovich-elméletben leírt (ún. „asztronómiai” készletésű) periodikus lehűlés megakadályozásához.

Nagy kérdés, hogy az elmúlt évtizedekben újra megugrott CO_2 -szint képes-e megakadályozni egy új jégkorszak kialakulását.

Mielőtt erre válaszolnánk, vegyük közelebről szemügyre a legutolsó jégkorszakot, amikor bolygónk vízkészletének egyre nagyobb mennyisége a hegyvidéki gleccserekben és a sarki jégmezőkben volt található. Miközben 15-25 ezer éve az egyenlítőt négy alkalommal is kb. 25

m-es vastag jég borította, a tengerszint 120 m-rel alacsonyabb volt a mai értéknél. Mintegy 600 generációval ezelőtt a szárazföldek egyharmada és az óceánok 5 százaléka volt befagyva, és őseink Ázsiából át tudtak gyalogolni Amerikába.

A Föld átlaghőmérséklete ugyan csak 4°C-kal volt alacsonyabb a mainál, de az északi félgömbön 15-20°C-al is hidegebb lehetett. Egyszer csak hirtelen megindult a jég elolvadása, és az éghajlat egyre melegebbé és melegebbé vált, de a változás nem volt egyenletes. 11 ezer éve például újra kialakult egy ezer évnyi hideg időszak (az ún. Younger Dryas), amelynek az okát egy nagy észak-amerikai tó katasztrofikus kiürülésével hozzák kapcsolatba. A tó hideg vize ugyanis leállíthatta az észak-atlanti óceáni melegáramlatot. Ebben az epizodikus lehülésben a leginkább figyelemreméltó az, hogy az éghajlat rendkívül gyorsan – évtizedek alatt – képes megváltozni.

3.3. Dickens fehér karácsonya és az ún. „kis jégkorszak”

Éghajlatkutatók szerint 1450 és 1850 között (egyesek szerint 1200 és 1900 között) volt az ún. kis jégkorszak. A kb. 1°C-al alacsonyabb átlaghőmérséklet elég volt ahhoz, hogy a Temzén telente jégkarneválokat tartsanak. A karácsonyi hóesés az idő tájt Angliában is megszokott jelenség volt. A kis jégkorszakról (és az azt megelőző 1000-1300 közötti ún. középkori meleg időszakról) hatalmas tudományos viták dúlnak. Miután a kis jégkorszak vége időben nagyjából egybeesik az iparosítással, ezért kétségtelen, hogy kialakulásában természeti okok és ember által előidézett változások egyaránt szerepet játszottak. A természeti okok között például tény, hogy a naptevékenység ezalatt két ízben is lecsökkent (1400-1510 között az ún. Spörer minimum alatt, majd 1645-1715 között a Maunder minimum alatt – amikor nem vagy alig volt napfolt – a napsugárzás intenzitása 0.25 %-kal lehetett kevesebb).

Az európai kis jégkorszak és a középkori meleg időszak okainak számbavételénél nem feledkezhetünk meg arról, hogy Nyugat-Európa éghajlata azért sokkal melegebb a nagyjából azonos földrajzi szélességen fekvő Kanada éghajlatánál, mert a Golf-áramlat a Karib-tengeri térségből folyamatosan szállít meleg vizet Skandinávia felé. A Golf-áramlat erősödése vagy gyengülése bizonyára kihatással van ÉNy-Európa éghajlatára.

Ha nagy mennyiségű friss hideg víz kerül az észak-atlanti térségbe – például annak következtében, hogy egy fokozódó melegedés megolvasztja a

jéghegyeket –, a Golf-áramlat legyengül. Efféle folyamat lejátszódhatott a kis jégkorszakot megelőzően is, és a modern éghajlati modellszámítások is ugyanezt a jelenséget vetítik előre.

3.4. Sütőből jég szekrénybe

A Milankovich-elmélet értelmében a Föld a következő jégkorszaka előtt áll. Egyes kutatók szerint ehhez csak egy önmagában csekély kiváltó hatás („trigger”) hiányzik, és úgy néz ki, hogy ezt a szerepet éppen a jelenkori felmelegedés játssza. Az éghajlati rendszer kulcsa az óceánokat egymással összekötő hatalmas vízáramlási rendszer (az ún. nagy óceáni szállítószalag), amelybe a felszínközeli és az óceánfenék közelében lévő áramlások egyaránt beletartoznak. A Golf-áramlat e rendszer része, és a folytonosság fenntartója is, amennyiben az északon lehűlt vízének lesüllyedése jelenti a tengerfenéki hidegáramlás forrását. Az óceáni szállítószalag leállása, ill. megzavarodása, valamint az északi félgömb lehülése szoros összefüggésben vannak egymással. Kérdés, hogy melyik az ok, és melyik az okozat? A választ pontosan senki sem tudja, de tény, hogy nagy mennyiségű hideg édesvíznek az észak-atlanti térségbe kerülése a Golf-áramlatot legyengíti. Amikor 11 ezer éve (amikor Milankovich szerint felmelegedésnek kellett következni) egy tóból nagy mennyiségű gleccservíz került a rendszerbe, ezer évre kiható hideghullámot okozott.

Manapság az interglaciális (két jégkorszak közötti melegebb időszak) és a következő jégkorszak közötti átmenetben vagyunk, és az emberi tevékenység miatti légszennyezés nélkül biztosan haladnánk a jégkorszak felé. Vajon mi történik a melegedés hatására? Modellszámítások szerint a melegedés következtében a Grönland fölötti erős nyugati szelek jelentős mennyiségű hideg édesvizet hoznak a rendszerbe (a jégolvadások vizét). Ennek következtében az óceáni szállítószalag leáll (de legalábbis átrendeződik), mert azok a viszonyok, amelyek a Karibi térségből érkező víz felszín alá bukásához vezetnek, már Portugália partjainál kialakulhatnak. (A jelenségről magyarul részletesen Czelnai Rudolf: A világóceán c. könyvében olvashatunk.)

Lássuk be, hogy a természetes hőmérsékleti trend néhány ezer éve ismét lefelé mutat, és ezt a folyamatot csak az ember által előidézett (ún. antropogén) felmelegedés szakította félbe. Az időleges melegedés ellenére azonban mégis el fognak indulni azok a folyamatok, amelyek révén visszaáll, sőt felgyorsul a természet által kijelölt irányzat.

Az üvegházhatású gázok további kibocsátása miatti felmelegedés tehát egy nagy lehűlést fog előidézni. A jég tehát így is – úgy is visszatér, akár leállítjuk a további légszennyezést, akár nem. Választási lehetőségünk csak abban van, hogy akarunk-e még szaunában is sütkérezni a jégfürdő előtt. Akárhogyan is lesz, leszármazottaink számára az élet sokkal nehezebb lesz, mint nekünk. Európa, Észak-Amerika, Oroszország nagy részén lehetetlen lesz élni. Tömeges vándorlások indulnak el, de jégkorszaki viszonyok között a Föld egyszerűen nem képes 8-10 milliárd embert eltartani. Nem kétséges, hogy az emberi faj túléli ezt az időszakot, de csak árnyéka lesz korábbi önmagának.

Magyar nyelvű olvasmány:

Czelnai Rudolf: Új fejlemények a légkör-óceán kölcsönhatásának kutatásában. <http://hps.elte.hu/~zagoni/Czelnai2.pdf>

Meskó Attila: A földi élet fenntarthatóságának kérdései, IV./2. Mikor állhat le az óceáni szállítószalag?
<http://www.mindentudas.hu/mesko/20040918mesko.html?pIdx=11>

4. A „BELSŐ” ELLENSÉG (SZUPERKITÖRÉSEK, HATALMAS SZÖKŐÁRAK ÉS AZ ELJÖVENDŐ NAGY FÖLDRENGÉS)

4.1. Földi pokol

Képzeld el a kénes gázok mindent átható bűzét egy olyan világban, ahol a sötétséget csak egy távoli, homályos vörösés fény töri meg. Nehéz, szürke hamu hullik – hóesés helyett –, ami a szemet, orrlyukat és fület bedugítja. A hamus-szemcsés, lélegzést akadályozó nyáladékot öklendezve tudjuk csak a szánkából eltávolítani. E pokoli látomások a világ mintegy 500 működő vulkánja környékén élő félmilliárdnyi ember számára ma sem idegenek.

A szokásos intenzitású kitöréseken (1991 Pinantubo, 1883 Krakatoa) túl szuperméretű vulkánkitörések is elképzelhetők. Egy ilyen, az egész Földet megrázó kitörés mellett még a Krisztus előtt fél évezreddel a minoszi kultúrát elpusztító (és Atlantisz legendáját szárnyrakeltő) vulkánkitörés közönséges petárdapukkanásnak tűnne. A szuperkitörések szerencsére igen rendkívüliek. A legutóbbi 2 millió év alatt százezer évenként talán kettő sorolható ebbe a kategóriába. A legutolsó szuperkitörés 73500 éve következett be és ekkor akkora tömegű hamu és gáz került a légkörbe, ami az egész Földön ún. vulkanikus telet okozott.

Az ún. vulkánkitörési index (Volcanic Explosivity Index, VEI) – a magnitúdó (a kilökött anyagmennyiség) és az intenzitás (az anyagkiáramlás sebessége) közötti összefüggés alapján, lényegében a földrengésekhez hasonlóan – lehetővé teszi a történelmi kitörések összehasonlítását. A VEI skála logaritmikus (így a VEI 5 tízszer akkora, mint a VEI 4), és egy gyenge lávakiáramlás (lávaerupció) VEI 0 értékűnek számít. Egy gyenge erupció VEI 1-es. A közepes kitörések VEI 3-as indexűek, a nagyobbak VEI 4-esek. Ez utóbbiak már 20 km magasságba képesek anyagkillövellésre, és a környező tájat legalább 1 m-es törmelékkel borítják be. Ilyen volt például 1980-ban a Mount St. Helens, 1994-ben a Raboul (Pápua Új Guinea) kitörése.

VEI 6 méretű volt 1991-ben a Pinatubo (Fülöp-szigetek) kitörése. VEI 7-es méretű kitörés legutóbb 1815-ben történt, amikor az indonéziai Sumbawa szigetén a Tambora mélyéből 34 napon át tört fel a köpeny anyaga: 50 km³ hamu, 200 millió tonna kénes gáz került a magaslégkörbe (az ún. sztratoszférába). A Tambora kitörése 10 ezer év (a jégkorszak vége) óta a legnagyobb vulkánkitörés lehetett. Hatása nem korlátozódott Délkelet-

Ázsiára: a kénes gázokból és vízgőzből 150 millió tonna aeroszol keletkezett, amely különösen hatásosan zárja el a napsugárzást. 1816-ot „nyár nélküli évnék” tartják számon: az évi globális átlaghőmérséklet 0.7°C-kal volt alacsonyabb az előző évinél. Nyári fagyokat, -havazást és özvívízserű esőzéseket hozott magával.

Még az 1815. évi kitörésnél is elképzelhetők nagyobbak. Bizonyosan tudjuk, hogy 450 millió éve (az ordoviciumban) Észak Amerikában akkora kitörés következett be, hogy legalább egymillió négyzetkilométert (tíz magyarországnyi területet) pusztított el.

2 millió éve Yellowstone Nemzeti Parkban 80 km-es átmérőjű vulkáni kráter keletkezett, amelyet 1.2 millió éve, majd 650 ezer éve újabb kitörések követtek. A legutóbbi vulkánkitörés Yellowstone-nál 70 ezer éve volt, de vulkáni utóműködést (pl. gejzírek, kisebb földrengések formájában) ma is tapasztalni lehet. Egy újabb nagy kitörés lehetősége sem zárható ki egyértelműen.

A nagy Yellowstone-i kitörés és a Toba 73500 évvel ezelőtti kitörése a szuper-erupciós szintet jelentő VEI 8 index-szel jellemezhető. A kilökött törmelék térfogata ezeknél akár a 3-6 ezer km³-t is elérheti. 73500 éve a szumátrai Toba 5 milliárd tonna kénsavas aeroszolt produkált. Ez a mennyiség a napsugárzás 90 százalékának blokkolására elegendő. A trópusi területek hőmérséklete igen gyorsan 15°C-kal, a Föld átlaghőmérséklete 5-6°C-kal csökkent. A trópusi növényzet és állatvilág kipusztult, és az egész Föld igen hamar jégkorszaki viszonyok közé került. Grönlandi jégminták alapján úgy gondolják a kutatók, hogy a kitörést legalább hat éven át tartó vulkanikus tél követte. A lehülés körülbelül ezer évre hatott ki, de nem sokkal ezután beköszöntött a legutolsó (az ún. negyedidőszaki) jégkorszak, amely véglegesen csak 10 ezer éve ért véget. Vannak, akik úgy gondolják, hogy a Toba kitörése siettette a negyedidőszaki jégkorszaknak a beköszöntését. Itt említendő meg, hogy DNS-vizsgálatok szerint az emberek DNS-állománya túlságosan egyforma ahhoz, hogy több százezer év óta akadálytalanul fejlődhetett volna az emberi faj. Efféle rendkívüli hasonlóságot csak a génállományban időnként történt drámai lecsökkenések (ún. populációs szűk keresztmetszetek) magyarázhatnak. A Toba kitörésének következményei (a fotoszintézis éveken át tartó szünetelése következtében kitörő általános éhínség) könnyen lehetnek egy ilyen génállomány-szűkülés okozói. Egyes számítások szerint 20 ezer éve – a jégkorszak vége felé – mindössze csak néhány ezer ember élhetett a Földön. Ha ez igaz, a mai hat milliárd fő mind az ő leszármazottaiknak tekinthető.

Korántsem biztos, hogy egy esetleges jövőbeni szuperkitörés elpusztítja az emberi fajt, de hogy a globális technológiai társadalomnak véget vet, az szinte biztos. Ilyen nagy szuperkitörést a kb. 1055 működőnek tartott vulkán bármelyike produkálhat, de a következő szuperkitörés olyan helyen is elképzelhető (például a déli Andokban), ahol jelenleg (még) nincs vulkán. Hatalmas bazaltfolyások (alacsony viszkozitású láva-kiömlések) ismertek Indiából, Afrika déli részéről, az USA északnyugati vidékéről, valamint Szibériából. A 250 millió év előtti kitörés előtt (amely kitörés 25 millió km^2 -t árasztott el folyékony bazalttal) a permi időszak hemzsegett az élettől. A triászra azonban a fajok 95 százaléka kihalt. Hasonlóképpen az északnyugat-indiai trapp bazalt (a Dekkán-fennsík) 65 millió éve, a kréta végén keletkezett. A dinoszauruszok kihalását a bazaltlávával együtt kiömlő gázmennyiség (széndioxid) üvegházhatása is okozhatta, habár megjegyzendő, hogy egy másik – jóval elfogadottabb nézet szerint – üstökös- vagy kisbolygó-becsapódás történt.

4.2. Hullámsír

A St. Helens kitörése – többek között – egy addig mellékesnek gondolt körülményre is felhívta a figyelmet. Nem a korábbi kürtön keresztül, hanem a hegy északi lejtőjén frissen képződött (kb. 2 km-es átmérőjű és 100 m magasságú) dudorból tört ki az anyag, hatalmas földcsuszamlást is okozva. A hirtelen feltörő gázok ereje 600 km^2 -nyi területen pusztította el az erdőt. A folyóvölgyeket – (ún. piroklasztikus) folyások kíséretében – iszapfolyások töltötték meg, és vulkáni hamuszóródás még 1000 km távolságban is történt.

A St. Helens kitörésének tanulmányozása ráirányította a figyelmet arra, hogy a vulkánok dinamikusan változó szerkezetek: az állandó változás állapotában vannak, és hogy a földcsuszamlás a vulkán életciklusának természetes része.

A St. Helens hegyomlása semmiség volt a Föld eddig ismert legnagyobb vulkáni eredetű földcsuszamlásához képest, amely a történelem előtt időkben Hawaii-ban következett be. Amennyiben a vulkáni földcsuszamlás tengeri környezetben zajlik le, szökőár keletkezhet.

Vulkáni eredetű földmozgás által okozott pusztító szökőárak ismeretesek 1792-ből (Unsen, Japán) és 1888-ból (Ritter-sziget, Pápua Új Guinea). Hawaii körül legalább 70 nagyméretű csuszamlás történt már. Némelyikük anyagtérfogata az 1000 km^3 -t is meghaladta. Valószínűleg egy

százezer év előtt földcsuszamlás felelős a szomszédos Lanai-szigeten 300 m magasságban talált korallzátony-maradványok odakerüléséért is.

Egy-egy nagyobb vulkáni összeomlás az óceánpartokon akár több száz méteres magasságú hullámokat generálhat, és még a forrástól ezer km-re is több tíz méteres magasságú hullámok keletkezhetnek partközelen. Egy esetleges újabb nagyméretű hegyomlás a Hawaii-szigeteken 12 óra leforgása alatt (több száz km/óra sebességgel terjedő vízlökést elindítva) elpusztíthatja a teljes csendes-óceáni partvidéket, beleértve az USA, Kanada, Japán és Kína partjait.

A Kanári-szigetek is hatalmas méretű omlásokról tanúskodnak. Manapság a nyugati oldalon indult el egy leválási folyamat. Geológiai értelemben igen hamar (10 ezer éven belül biztosan) megtörténik a földcsuszamlás, ami – amellet, hogy cunamit indít el – feltehetően vulkánkitörést is fog indukálni. Az elkövetkezendő Kanári-szigeteki földcsuszamlást követő két percen belül egyes számítások szerint akár 900 m-es hullámmagasság fog kialakulni. 45 percen belül 100 m-es hullámok pusztítják el a Kanári-szigeteket. Spanyolország és az Egyesült Királyság 7 m-es hullámokat kap. Brazília északi részére, a Karibi-térségre és az USA teljes keleti partvidékére 10 m-es hullámok zúdulhatnak, de az öblök és tölcserkorkolatok terelő hatása következtében Bostonban, New York-ban, Baltimore-ban, Washingtonban és Miami-ban a vízmagasság akár az 50 m-t is elérheti. A szél ereje által fenntartott hullámokkal ellentétben (amelyek néhány 10 m-es távolságban követik egymást) a cunamik hullámtávolsága néhány száz kilométer, és a szökőár terjedési sebessége a nyílt tengeren kb. néhány száz km/óra. Mindez azt jelenti, hogy a partközelen feltornyosuló vízfal 10-15 percen át csak jön és jön, mielőtt elkezdene visszahúzódni. Egy ekkora erejű támadásnak semmilyen építmény sem képes ellenállni. A Karibi-szigeteki földcsuszamlás és a szökőár az észak-atlanti megérkezése között mintegy 9 óra telik el. Riasztásra ugyan van lehetőség, de a károk elkerülhetetlenek. Egy ilyen eseménynek különösen a gazdasági következményi lennének globálisak.

Megállapítható, hogy nagyjából tízezer évente történik valahol a Földön egy hasonló méretű szökőár. Geológiai értelemben már ez az érték is gyakorinak számít, de mindehhez hozzászámíthatjuk, hogy az általános felmelegedés – mivel a nagyobb meleg hevesebb esőzéseket okoz – siettetheti a következő ilyen esemény bekövetkeztét.

4.3. A halálváró város

Az 1994-es Southridge-i (Dél-Kalifornia) földrengésnek elsősorban a gazdasági vesztesége (35 milliárd dollár) volt nagy, és ez is jórészt a régebbi építmények összeomlásából keletkezett. Az 1999-es 7.4-es magnitúdójú Izmit-i (Törökország) földrengésben 150 ezer épület és 17 ezer ember pusztult el; a 2001-es Bhuj-i (India) földrengés 400 ezer házat rombolt le és 100 ezer embert ölt meg. A halálesetek legnagyobb része az épületomlásokból származott. A legutóbbi ezer év során összesen 8 millió ember halt meg földrengés következtében.

Ha egy ilyen nagy földrengés mondjuk Karachi-ban vagy Mexikóvárosban pattanna ki, akár több millió áldozattal is járna, de a világra globális hatást az esemény nem gyakorolna. Egy ugyanekkora tokiói földrengés világgazdasági következménye viszont felmérhetetlen lenne.

Tokió három kéreglemez (szakszerűbben: litoszféra-lemez) találkozásának közelében, egy tektonikailag rendkívül aktív területen fekszik. 1923 szeptember elején, röviddel dél előtt egy hatalmas (8.3-as magnitúdójú) földrengés rázta meg Yokohamát és Tokiót. A nehéz tetejű faépületek mind összedőltek, a bennlévőket maguk alá temették. A keletkező tűz a feltámadó szélben gyorsan terjedt és két napig nem is lehetett eloltani. A földrengésben, de főleg az azt követő tűzvészben 200 ezer ember veszítette életét. Az anyagi kár mai értéken mintegy 50 milliárd USA-dollárra rúgott. Egyesek szerint a tokiói földrengés hozzájárult a gazdasági világválsághoz is. Egy hasonló földrengés kihatásai a mai globalizált világgazdaságban még ennél is súlyosabbak lennének. A közetfeszültség 81 év óta újra halmozódik, és 1923 óta csak kisebb földrengések voltak a térségben.

Az 1994-es Kobe-i földrengés, amely 6000 emberéletet követelt, de 200 milliárd USA-dollárnyi kárt okozott, egy elkövetkező tokiói földrengés kicsinyített modelljének is felfogható. A katasztrófa kaotikus következményeivel már Kobe-ban sem tudtak megbirkózni a hatóságok. A földrengéskutatók szerint egy 7-es erősségű földrengés bármikor kipattanhat a japán főváros alatt, de egy 8-as magnitúdójú esemény sem zárható ki.

Japánban rendkívül intenzív kutatás folyik a földrengések előrejelzésére, amelyek között földtani (talajvíz- és radonszint-változáson alapuló), fizikai (elektromágneses, elsősorban piezoelektromos) és biológiai (állatviselkedéstani) módszereket is igyekeznek kidolgozni. A „nagy esemény” (a „big one”, japánul a „chokka-gate” rengés) kára a biztosítótársaságok szerint könnyen elérhetné a 7 trillió dollárt. Egy nagy

tokiói földrengés Japán gazdaságát olyannyira megrázná, hogy a válság végiggyűrűzne a világban, és az 1920-as évek recessziójánál is rosszabb helyzetbe kerülne a világgazdaság. A szeizmológusok ijesztő egyetértésben vannak afelől, hogy mindez akár 30 év múlva is bekövetkezhet.

Tudatában kell lenni mindenkinek annak, hogy a Föld igenis veszélyes hely. Tudományos kutatások révén mérsékelni lehet a következő szuperkitörés vagy gigantikus szökőár hatását, és talán a földrengések és vulkánkitörések előrejelzése is pontosabbá válhat. Bizonyos, hogy a következő alkalommal kedvezőbb helyzetben leszünk, mint annak idején a Toba kitörésére félelemmel tekintő őseink lehettek.

Magyar nyelvű olvasmány:

<http://foldrenges.hu>

Jánosi Imre: A cunami fizikája.

<http://jedlik.phy.bme.hu/wyp2005/janosiiimre.html>

5. FENYEGETÉS AZ ŪRBŐL

5.1. Kisbolygó- és űstőkösbecsapódások

1993-ban Eugene Shoemaker és David Levy egy eddig soha nem látott űstőköst fedeztek fel a Jupiter gravitációs terében. E felfedezés végérvényesen véget vetett annak az illúziónak, hogy a Föld egy összkomfortos paradicsom volna a kiszámíthatatlan világrben. Néhány hónap múlva ugyanis az űstőkös darabjai (4 km-nyi űrtörmelék) becsapódtak a Jupiterbe, és a tudósok – a Hubble űrteleszkóp és a Galilei űrszonda segítségével – mindezt „egyenes adásban” figyelhették. A Shoemaker-Levy űstőkös esete nyomán a tudomány és a közvélemény (beleértve a politikusokat és a filmipart is) kezdte komolyan venni ezt a Földre leselkedő veszélyt.

A Föld – története során – állandó bombázás alatt állt és semmi kétség, hogy a becsapódások sora ezután is folytatódni fog. Az emberiségre gyakorolt hatás a becsapódó darabok energiájától (mértétől és sebességétől) függ.

5.2. Kozmikus homokvihar

Az űtközési gyakoriság becsléséhez figyelembe kell venni az űrtörmelék mennyiségét, valamint azt, hogy ezek milyen közel kerülhetnek a Földhöz. Mérettartományuk néhány mm-től 1000 km-ig (a Ceres minibolygó méretéig) terjed. A homokszemnyi törmelékdarabok a légkörbe érve szerencsére azonnal megsemmisülnek; a borsó nagyságú darabok körülbelül ötpercenként okoznak felvillanást a légkörben; a futball-labdányi méretűek – amelyekből havonta körülbelül egy érkezik – hosszabb pálya mentén égnek el. Az ennél nagyobbak már elérhetik a Föld felszínét, de becsapódás évente csak néhányszor fordul elő. 40-50 m-es átmérőjű idegen test évszázadonként egy-két alkalommal szokott leesni.

A Földet fenyegető idegen testek (meteorok) legtöbbje olyan Nap körül keringő kisbolygó (ún. „aszteroida”), amelynek a pályája keresztezi a Földét. A 10 métert meghaladó átmérőjű aszteroidák száma 20 millió körüli, a 100 m-nél nagyobbak száma mintegy százezer, az 500 m-esnél nagyobb átmérőjűek száma mintegy húszezer lehet. Ez utóbbiak – az óceánba esve – pusztító szökőárakat indíthatnak el.

Az 1 kilométeres kisbolygó-méret azt a küszöbhatárt jelzi, amelynél nagyobb aszteroida becsapódása már globális katasztrófát jelent. Ennek

mozgási energiája akkora, hogy 20 km átmérőjű krátert képesek ütni, és az innen elporlasztott kőzetanyag annyira leárnyékolja a napsugárzást, hogy a Földre ún. kozmikus tél köszönt be. A küszöbhatárt meghaladó méretű kisbolygók száma 500 és 1100 köré tehető. Ezek közül eddig kb. 350-re sikerült pályaszámítást végezni, és a kutatások továbbra is folytatódnak. (A 2004 tavaszán felfedezett 2004MN4 névre keresztelt aszteroidáról 2004. december 28-án közölték, hogy 2029. áprilisában – az előzetes feltételezéssel ellentétben – bizonyosan nem fog összeütközni a Földdel.)

A kisbolygók pályadatait ismerve tehát valamivel nagyobb biztonságban érezhetjük magunkat, de a problémák sora itt nem ér véget: az üstökösökre is gondolnunk kell.

Az üstökösök kőből és/vagy jégből álló testek, amelyek általában elnyúlt elliptikus pályát futnak be és útjuk során a Nap közelében és a Naprendszeren kívül is megfordulnak. Amikor az üstökös távol jár, észrevehetetlen. Amikor viszont a Nap az üstökös magjáról elkezdi elpárologtatni a gázokat, eltávolítani a porrészecskéket, egy akár 100 millió km-es hosszúságú látványos csóva is kialakulhat. (E csóva – a napszél látványos megnyilvánulásaként – mindig a Nappal ellentétes irányba mutat.)

Az üstökösök sebessége 60-70 km/s (a kisbolygók jellemző sebességének háromszorosa), ennél fogva mozgási energiájuk csaknem egy nagyságrenddel nagyobb a hasonló tömegű kisbolygókénál.

Az üstökösök pályáját nem lehet ugyanolyan pontosan kiszámítani, mint a kisbolygókét. A Halley üstökös – amely 76 évenként jelenik meg – e vonatkozásban kivételt jelent, hiszen a történelmi időkben elégszer felbukkant ahhoz, hogy a pályáját jó előre meg lehessen határozni. Tudjuk például, hogy 3000-ig a Halley-üstökös bizonyosan nem veszélyezteti a Földet.

Léteznek parabola pályán száguldó üstökösök is, amelyek mérhetetlenül nagy utat tesznek meg a Naprendszeren kívül, mielőtt a belső bolygók közelébe jutnak. Első észlelésüket követően szűk hat hónapnyi idő múlva történhet meg az esetleges becsapódás. E távoli üstökösöket a napszél még nem nagyon koptatta, úgyhogy akár 100 km-es átmérőjük is lehetnek köztük.

5.3. Világok ütközése

Sokáig úgy vélték a kutatók, hogy a Hold felszínének szabályos kör alakú krátereit vulkánkitörések okozták. A becsapódások lehetőségét kezdetben azért vetették el, mert a ferdén leeső testek nem kör-, hanem ellipszis alakú krátereket hoznak létre. A második világháború bombatöleségei azonban arra hívták fel a figyelmet, hogy a nagyenergiájú becsapódások – a beesési szögtől függetlenül – mindig kör alakú krátert robbantanak ki.

Amikor az arizonai Barringer-kráterre (mai nevén Meteor-kráterre) nézve először (1905-ben) felvetődött a becsapódásos eredet lehetősége, egy negyedszázadon át hiába keresték az idegen testet (a meteoritot). Ma már tudjuk, hogy az ütközés hője mindent elpárologtat, és a becsapódó test majdhogynem nyomtalanul eltűnik.

A Földre – nagyobb térbeli kiterjedésének és nagyobb gravitációs erőterének tulajdoníthatóan – kb. 30-szor annyi testnek kellett becsapódnia, mint a Holdra. A nyomokat azonban a Földön a lemeztektonika (nevezetesen a lemezek alábukása, az ún. szubdukció) eltüntette. Ma a földfelszín 2/3 része mindössze néhány százmillió éves. A legerősebb úrbombázásnak a Föld az első 1-2 milliárd évben volt kitéve, így ebből az időszakból legfeljebb az ősi kéregdarabok, a kratonok tartalmazhatnak becsapódásokat. Mindeddig 165 becsapódási krátert sikerült a Földön azonosítani.

A vélemények megoszlanak egy következő nagy becsapódás lehetőségeit és hatását illetően. Az egyik irányzat szerint állandó, egy másik irányzat szerint időben hullámzó becsapódási gyakorisággal számolhatunk.

Állandó becsapódási gyakoriságot feltételezve egy 50 m-es (városromboló méretű) test 50 évenként ütközhet a Földdel, az 500 m-esek becsapódása tízezer évenként várható, míg az 1 km-eseké egy-két-három százezer évenként. Gigantikus méretű becsapódások (mint amilyen 65 millió éve véget vetett a dinoszauruszoknak) 50-100 millió évenként egyszer fordul elő.

Kétségtelen, hogy az űrben a törmelék eloszlása nem egyenletes. Jó példa erre a Plútón kívüli gömbhalmaz-szerű üstökösfelhő, az ún. Oort-felhő. Innen egyik-másik üstökös időnként (kb. 20 ezer évente) bejuthat a belső Naprendszerbe, de ha valamilyen külső hatás érné az üstökösfelhőt, sokkal nagyobb lehet az elszabaduló üstökösök száma, következésképpen az ütközésveszély a belső bolygókon – így a Földön is – nagymértékben megnövekedne. (A sokat keresett tizedik bolygó: messze a Plútón kívül

esetleg keringő ún. X bolygó például – amennyiben létezik – az Oort-felhőre kifejthet ilyen hatást.) Két ilyen időszakos ütközésveszély-növekedési teóriát említünk meg.

(1) Az ún. Shiva-hipotézis szerint az élővilágot elpusztító nagy becsapódások a Földön meglehetősen szabályos időközönként, 26-30 millió évenként következnek be. E tényt egyesek a Naprendszernek a Tejútban bejárt pályája hullámzásának tulajdonítják. Nagyjából 30 millió évenként az egész Naprendszer egy lemezszerűen elnyúlt galaxis síkján halad át. Az itt fellépő gravitációs erők elegendőek ahhoz, hogy megzavarják az Oort-felhőben lévő üstökösök pályáit, amit általánosan jónéhány üstökös bejuthat a Naprendszer belsejébe, drámai módon megnövelve a becsapódások gyakoriságát. A Shiva-hipotézis geológiai időskálához kötődik, közvetlen fenyegetést a mai Földre nem jelent.

(2) Egy másik elmélet (Clube és Napier, Egyesült Királyság) szerint a becsapódások gyakorisága néhány ezer évenként nő meg. Az Oort-felhő zavartalansága esetén – nagyjából 20 ezer évenként egyszer – egy-egy üstökös így is, úgy is bejut a Naprendszer belsejébe. Az újonnan jövő égitestet a Nap vagy a Jupiter gravitációs térereje darabokra töri. Pályájuk mentén törmelékgyűrű alakul ki, de a legtöbb (akár milliányi) darab az eredeti üstökös körül repül tovább, jelentősen megnövelve a földi becsapódás valószínűségét. A legutolsó gigantikus meteor az Oort-felhőből a jégkorszak vége felé, úgy 10 ezer éve érkezhetett, és belőle lettek a Tauridák. A Tauridák átvonulása (a kavics méretű kődarabok elérése a felső légkörben) minden decemberben látható az égen. (A Tauridák központi magjában az 5 km-es átmérőjű Encke üstökösön kívül még legalább 40 olyan égitest van, amelyek közül bármelyik globális pusztítást képes végezni a Földön.) A karácsony előtt érkező Tauridák mostanában csak fényjelenséget okoznak, mivel a Föld pályája a Tauridákét olyan helyen keresztezi, ahol viszonylag kevés a törmelék. 2500-3000 évenként azonban a Föld a Tauridák középponti részén halad át. Mintegy 4000 éve egy efféle becsapódás-sorozat okozhatta több korai civilizáció pusztulását. E sorozat ugyan globális katasztrófát nem okozott, de a bekövetkező légköri lökéshullámok, földrengések, szökőárok és tűzvészek sok helyen pusztító erejük lehettek az ókori világban. Minderre egyértelmű bizonyíték ugyan nincs, de igen figyelemre méltó, hogy Krisztus előtt 2350 körül számos európai, afrikai és ázsiai város szinte egyidejűleg szűnt meg létezni, és hogy az Ausztráliában, Észak-Amerikában és Argentínában azonosított becsapódási kráterek korát 4-5000 évben határozták meg. A Föld legutóbb 4-600 között

haladt át a Tauridák sűrű részén, és létezik olyan hipotézis, hogy az akkori becsapódás-sorozat még a Római Birodalom bukását is siettette.

Manapság szinte divattá vált, hogy minden egyes történelmi eseményt természeti katasztrófával magyarázzanak. Talán túlzás lenne a természeti katasztrófák jelentőségének túlhangsúlyozása, de azért nem tagadható, hogy a régi civilizációk sokszor szenvedtek a természet erőtől.

5.4. Hogyan szeretne Ön meghalni?

Amennyiben a Tauridák modellje igaz – bár meg kell jegyezni, hogy támogatóik kisebbségben vannak a becsapódás-kutatók között –, körülbelül egyezer évünk van a következő üstökös-köteg megérkezéséig. A másik modell szerint 50 ezer év van hátra a következő gigantikus ütközésig, illetve az azt követő kozmikus tél beköszöntéig.

A legközelebbi égitest becsapódásának hatása függ (1) az objektum méretétől, (2) az objektum sebességétől, (3) attól, hogy szárazföldre vagy óceáni területre esik.

Amint korábban kifejtettük, körülbelül 1 km-es méretű test már globális kozmikus telet okozhat a Földön. A kozmikus tél az idő múlásával egyre nagyobb hatással van az ökoszisztémákra, végül a legtöbb faj kihal. A 65 millió évvel ezelőtti (Kréta időszaki) becsapódás nem csupán a dinoszauruszokat, hanem az az idő tájt élt fajok 2/3 részét pusztította ki. Sőt, a Perm végi (kb. 250 millió évvel ezelőtti) becsapódás következményeként a fajoknak kevesebb, mint 10 százaléka maradt életben. Az ismert 25 kihalási esemény közül hetet nagy valószínűséggel becsapódás okozott (bár vannak olyan tudományos iskolák, amelyek a hatalmas bazaltömléseket nevezik meg a kihalások legfőbb okaként).

A rombolási potenciált végső soron a becsapódó test mozgási energiája határozza meg. A csillagközi távolságokból érkező, ún. hosszú periódusidejű üstökösök sebessége sokkal nagyobb, mint a kisbolygóké vagy a Naprendszer belső része körül keringő üstökösöké.

A Föld kétharmad részét víz borítja, így a becsapódások mintegy 2/3-a óceáni területeken valószínűsíthető. Óceáni becsapódás esetén a légkörbe kerülő elporlasztott kőzetmennyiség jóval kisebb, de ilyenkor a teljes óceáni medencéket átívelő szökőár alakulhat ki. A levegőbe jutó víz és só pedig jelentősen befolyásolhatja az éghajlatot, sőt az ózonrétegben is okozhat időleges károkat.

1908-ban Szibéria Tunguzka nevű vidékén egy körülbelül 50 méteres átmérőjű kisbolygó jutott be a légkörbe, majd kb. 10 km-es magasságban felrobbant. A hatalmas robbanás 2000 km²-es területen elpusztította az erdőket, és a lökéshullámok (amelyeket a földrengésjelző állomások is regisztráltak) háromszor kerülték meg a Földet, mielőtt lecsillapodtak volna. Az égbolt Európában olyan fényes volt, hogy London mellett állítólag még éjjel után is kriketteztek. Az áldozatok száma – lakatlan területről lévén szó – alacsony volt, de ha a becsapódás történetesen négy órával később következik be, Szentpétervárt kapja telibe.

A mexikói Yucatan-félszigeten 65 millió éve az 1908-as szibériainál egy összehasonlíthatatlanul nagyobb méretű (10 km-nyi) kisbolygó vagy üstökös csapódott be. A robbanás – egymilliárd hiroszimai atombomba hatásával összemérhető – ereje elpárologtatta az óceán vizét és 180 km-es krátert vágott a földkéregbe. (A Chicxulub-kráterről van szó.) 100 trillió tonna olvadt kőzettömeg került a légkörbe, és egy pillanat alatt egy Európánál nagyobb terület tarolódott le. A hurrikánnál ötször nagyobb erejű gigantikus viharok (ún. „hipercan”-ok, magyarul akár hiperkánoknak is mondhatnánk) és hatalmas szökőárok pusztítottak még több ezer kilométerre is a becsapódás helyszínétől. A legrosszabb ezután következett. A forró kőzettörmelék a légkörből az egész bolygón hullani kezdett, megégetve minden élő anyagot és hatalmas tűzvészeket okozva mindenütt. A következő hetekben füst és por takarta el a Napot, és a hőmérséklet 15°C-ot zuhant. A növekvő sötétségben és hidegben a növényvilág elpusztult, a növényevő állatok lassan éhen haltak. A tengeri élővilág kétharmadát az óceánokba ömlő kénes vegyületek ölték meg. A sötétség elmúltával a cafatokra szagatott ózonréteg miatt az élővilág megmaradt részét ultraibolya sugárzás pusztította tovább. A Föld természetes egyensúlya olyannyira felborult, hogy a visszaálláshoz több százezer évre lehetett szükség. A repülőhüllők ekkorra már mind kihaltak, teret engedve a primitív mammutoknak.

Vajon mi történne napjainkban egy efféle becsapódás hatására? A közvetlen pusztítást kisebb részben a felszabaduló hő, nagyobb részben a lökéshullám végzi. (Pusztító erejű lökéshullámok csúcsnyomása kb. 700 N/m².) Amint az ég kezd elsötétedni, a napsugárzás intenzitásának csökkenése miatt drámai hőmérsékletcsökkenés következik be. Ennek a megítéléséről eltérőek a vélemények, de tény, hogy a Tambora 1815-ös kitörését nagy természetkieséssel párosuló „nyár nélküli év” követte. A szegényebb (az ún. „fejlődő” világbeli) országokban egy ilyen természeti

katasztrófát könnyen bibliai léptékű éhínség követhetne, de az ún. fejlett országok gazdasága és társadalma is megsínylene egy nyár nélküli évet.

Egy 1-1.5 km-es méretű égitest becsapódásába a világ népességének negyedrésze belepusztulna. Az ennél nagyobb becsapódások teljesen leállítanák a fotoszintézist, és ebben az esetben nem azt a kérdést kell feltenni, hogy hány ember pusztul el, hanem hogy az emberi faj fennmarad-e.

Nem tudni, hogy hány objektum fenyegeti egyáltalán a Földet. A Chicxulub-méretű becsapódásnak egyetlen évre kivetített valószínűsége igen csekély. Optimizmusunkat visszavetheti azonban, ha – Shiva-hipotézis alapján – az Oort-felhőből már elindultak az üstökösök a Naprendszer belseje felé. Még ha ez nem is következett volna be, akkor is lehet, hogy csak ezer évünk van a Tauridák sűrűjével való találkozásig, a kisbolygók következő rohamáig. Az efféle időzítésektől teljesen függetlenül is, statisztikailag nincs okunk kizárni annak a lehetőségét, hogy például jövőre belénk csapódik egy földpályát keresztező kisbolygó vagy egy olyan – ún. hosszú periódusidejű – üstökös, amely még sohasem járt erre felé.

Viszonylag kisméretű égitestek (mint amilyen 1931-ben Braziliában, 1997-ben Grönlandon esett le) is kiválhatnak nagy felfordulást, ha sűrűn lakott vidékekre hullanak. Sőt, az óceánba becsapódó égitestek is okozhatnak – szökőárok formájában – nagy szerencsétlenséget. (Egy ilyen esemény valószínűsége a következő 100 évben 1 százalék, ami egyáltalán nem tekinthető elhanyagolhatónak.)

Néhány évvel ezelőtt egy égitest-becsapódások általi fenyegetettség érzékeltetésére megalkották az ún. torinói skálát. Ennek egyik (vízszintes) tengelyén a becsapódási valószínűséget, másik (függőleges) tengelyén a kinetikus energiát tüntetik fel (logaritmikus léptékben). A várhatóan viszonylag kis kinetikus energiájú események még nagyobb becsapódási valószínűség esetén sem érdemelnek figyelmet: ezek skálaértéke 0. Az 1-10 számok a becsapódás valószínűségéről és a kinetikus energiától egyaránt függenek. A 10-es érték elkerülhetetlen és globális következményeket magával hozó ütközést jelent. A 2000-ben felfedezett 2000SG344 volt az első olyan égitest, amely a torinói skálán 1-es értéket kapott; a 2004 áprilisában felfedezett 2004MN4 viszont 4-es minősítésű lett. (Pályaadataik ismeretében – néhány hónap elteltével – mindkettőről kiderült, hogy elkerülik a Földet.)

Magyar nyelvű olvasmány:

Bodoky Tamás: Becsapódási kráterek a Földön: Magyar Geofizika, 2004, 1,
51-55.

Holdja is van Naprendszerünk tizedik bolygójának?

<http://www.geographic.hu/index.php?act=napi&id=1953>

EPILOGUS

A globális felmelegedés, a következő jégkorszak fenyegető veszélye, egy jövőbeni szuperkitörés vagy kisbolygó-becsapódás következményeinek egyedi mérlegelése csak múlandó aggodalmakat kelt. Együttes figyelembe vételük azonban komoly levertséget okozhat. Jelenlegi helyzetünk ugyanis a következő:

1. Benne vagyunk egy felmelegedési ciklusban, ami bizonyos, hogy drámai geofizikai, társadalmi és gazdasági változásokhoz vezet a következő száz évben, és bizonyos, hogy a felmelegedés többnyire hátrányos következményeit mindenki érezni fogja. Földünk ugyanakkor ott libikókázik a következő jégkorszak határán, és a jégkorszak beálltát (amely emberi behatás nélkül néhány ezer év múlva elkerülhetetlenül bekövetkezik) ez a mostani globális felmelegedés jelentősen siettetheti.

2. Egy viszonylag nagyobb méretű becsapódó kisbolygó talán az emberiség egynegyedének is kiolthatná az életét, de nem tudhatjuk, mikor bukkan fel egy felénk tartó, hatalmas üstökös. Egy hatalmas szökőár vagy vulkánkitörés milliókat pusztítana el és a társadalomban is hatalmas károkat okozna. Manapság olyannyira egymásra vagyunk utalva, hogy egy egyszeri szerencsétlen – pl. Japánban kipattanó – földrengés világméretű gazdasági katasztrófát is képes előidézni ebben a globalizált világban.

3. Más trendek is azt mutatják, hogy ennek a mostani (globalizált) világnak még ebben az évszázadban vége lesz. A Föld népessége ugyan még mindig növekszik, 1968 óta csökkenő mértékben. 2070-re – a mai 6 milliárdot másfélszeresen meghaladva – 9 milliárdos csúcs várható. 2100-ra az előrejelzés szerint 8.4 milliárd lesz a világ népessége. A trend önmagában még elfogadható lenne, de ne felejtjük el, hogy ez a népesség előregedését jelenti, tehát egy meglehetősen sötét jövő sejlik fel. Az évszázad végére ugyanis az egész világ egyharmada, Európa és Japán lakosságának fele 60 év feletti lesz. Egyes előrejelzések szerint a generációk közötti konfliktusok a politikai színen is meg fognak jelenni. Nemcsak sötétebb, hanem tompább és sivárabb is lesz a jövő. Az emberi tevékenység az egyik legnagyobb fajkihalási időszakot idézte elő a földtörténetben: legalább 3000-re, esetleg 30000-re tehető minden egyes évben a kihalt fajok száma, amely jelenleg 10 millió körül van. A virágos növények akár egyharmada is veszélybe kerülhet, az állatoknak pedig 25-50 százaléka pusztulhat el 2100. január 1. előtt. A kihalt fajok helyét az emberrel együtt élő kártevők, gazok, betegségek foglalják el. Gorillák, paradicsommadarak és korallok helyett utódainknak patkányokkal, svábbogarakkal, bogáncsokkal és csalánokkal

kell majd együtt élni. A fajok sokfélesége (a biodiverzitás) igen törekény dolog: lassan és folyamatosan, evolúciós úton alakul ki. Öt millió év kellene a helyreállításához. Mi pedig utódainkat egy unalmas, szürke és – a biodiverzitást tekintve – egy szinte élet nélküli bolygóra kényszerítjük. Egyenesen Istent kísértjük akkor, amikor magával az evolúcióval, azaz a földi élet jövőbeni lehetőségeivel játszozunk.

Az előregedő társadalom a klímaváltozással és annak következményeiként fellépő gazdasági, politikai és társadalmi megrázkódtatásokkal fog küszködni, és harcolni fog – valószínűleg túl későn – az elődök által (mi általunk!) előidézett környezeti károk kiigazításáért.

A „közeli végítélet”-teória nem is tűnik olyan erőltetettnek. Mások is arra a következtetésre jutottak, hogy hamarosan drámai fejlemények következnek. 50 éven belül elkerülhetetlen lesz egy új világrendre való áttérés, és ez az új világ nemigen lesz kellemes.

Az egyetlen jó hír, hogy az emberi faj túlélése biztosítottnak látszik, legalábbis egyelőre. Ha eltekintünk egy nagyobb üstökös- vagy kisbolygó-becsapódástól, belátható időn belül valószínűleg nem történik olyan katasztrófa, amely az emberiséget letörölné a Föld felszínéről. Még a mi általunk ismert Föld megváltozása sem tűnik olyan borzalmasnak az új körülmények közé születő leszármazottaink számára. Végül is egy alkalmazkodó faj vagyunk, és hidegvérrel tudunk a megváltozott körülményekhez igazodni.

Már számos alkalommal előfordulhatott, hogy jól ismert „világok” tűntek el. A veszély az, hogy a gyermekeink és az ő leszármazottaiknak a világa egy harcos és csekély kilátásokkal kecsegtető, lelkesedés nélküli világ lesz.

A szerző (Bill McGuire) nem tett mást, mint extrapolálta a jelenlegi trendeket, annak érdekében, hogy felvázolja a bolygónk és az emberi faj számára leselkedő kétségbe ejtő különféle lehetőségeket. Csak néhány tízezer évre igyekezett előre látni, és akkor a Nap még biztosítani fogja a Föld számára az életadó meleget, még legalább 5 milliárd éven át. Ki tudja, hogy ezalatt a felfoghatatlanul hosszú idő alatt mivé lesz majd a Homo sapiens. Amennyiben megtanuljuk a természetet nemcsak kihasználni, hanem gondozni is – nem csupán itt a Földön, hanem a Naprendszerben, a galaxisban és azon túl is –, akkor bármit megtehetünk és bármivé lehetünk. Talán még nem késő mindehhez hozzákezdeni.

Magyar nyelvű olvasmány:

Meskó Attila: A földi élet fenntarthatóságának kérdése. Mindentudás
Egyeteme előadás
<http://www.mindentudas.hu/mesko20040917mesko.html>

UTÓSZÓ A MAGYAR VÁLTOZATHOZ

Fölöttébb elgondolkodtató, izgalmas olvasmánynak találtam Bill McGuire munkáját. Egy kicsit hiányoltam az elméleti alapok áttekintését, de be kell látni, hogy a célközönségnek (a brit, illetve az európai átlagembernek) éppen erre a meghökkentő tárgyalásmódra van igénye. Ezt az igényt a szerző tökéletesen ki is elégítette. (A magyar változat stílusa az eredeti változaténál némileg visszafogottabb, és utal néhány magyarul elérhető olvasmányra.)

A földi élet tartós megmaradásának geofizikai feltételei is hiányoznak a könyvből. A kétségtelenül legfontosabb napműködésen kívül feltétlenül megemlíthető (1) a kedvező Nap-Föld távolság (amely a nem túl alacsony és nem túl magas hőmérsékletet biztosítja), (2) megfelelő bolygó méret (amely elég nagy ahhoz, hogy megtartsa a légkört, de nem túl nagy, mert az megakadályozná az élőlények mobilitását), (3) a Föld méretéhez képest viszonylag nagy méretű Hold (amely a Föld tengelydőlését közel állandó értéken tartja (és a tengely ferdesége ugyanakkor biztosítja az évszakos változásokat), (4) a Földnél jóval nagyobb méretű bolygó (a Jupiter) közelsége (amelynek köszönhetően a Jupiter – a Földénél sokkal nagyobb gravitációs vonzóereje következtében a fenyegető aszteroidák és üstökösök nagy részétől megmenti a Földet), (5) a Föld állandó mágneses tere (amely megvédi a Föld felszínét a pusztító napszélről), (6) a Föld belső dinamizmusa, amely többek között a mágneses teret is fenntartja.

McGuire katasztrófa-előrejelzései közül négy másik igencsak vitatják. Bár az indiai-óceáni szökőár borzalmas katasztrófája most sokakat elgondolkoztatott, meg kell mondanunk, hogy McGuire-nek az az elképzelése (hipotézise) – miszerint a Kanári-szigeteken várható szigetszakadás földrengéseket idézne elő és vulkánok kitörését, és több milliárd tonna szikla zúdulna az Atlanti-óceán vizébe, „megacunamit” elindítva, és hogy a szökőár teljesen elárasztaná a Kanári-szigeteket, majd néhány órán belül tíz méter magas vízfal érné el Spanyolország, Portugália és Észak-Afrika partjait, és 12 órával később 10-50 méteres vízfal zúdulna az Egyesült Államok keleti partvidékére – tudományos körökben sokan változatlanul merő pánikkeltésnek tartják. Amint 2005 januárjában több magyar internetes portál is beszámolt róla, „*a legtöbb tudós szerint hollywoodi horrorfilm forgatókönyvébe jó lenne a brit katasztrófakutató víziója, tudományos elméletként azonban nem állja meg a helyét. Igaz, hogy La Palma szét fog szakadni, de ez a folyamat évmilliók alatt megy végbe* –

hangsúlyozza Juan Carlos Carracedo, a kanári-szigeteki vulkanológiai intézet igazgatója. A legtöbb tudós szerint a belátható jövőben nem fenyegeti olyan szökőár Spanyolország vagy Portugália partjait, amilyen most feldúlta nyolc dél-, délkelet-ázsiai ország partvidékét. Bizonyos mértékű szökőárveszély azonban szerintük is kétségtelenül fennáll, erre utal egyebek között az a tény is, hogy az utóbbi 300 évben tizenhat kisebb-nagyobb cunami csapott le a két ország partjaira. Az európai és afrikai lemezek találkozásánál keletkező súrlódások okozták ezeket, valamint a Földközi-tenger déli medencéjében történt földrengések. E szökőárok többsége azonban olyan kicsi volt, hogy még anyagi károkat sem okozott. Kivétel az 1755-ös szökőár, amelyet az Atlanti-óceánban bekövetkezett, a Richter-skála szerint 8,5-es erősségű földrengés váltott ki. 12-15 méteres vízfal zúdult akkor Lisszabonra, a spanyol és a portugál partvidék nagy részére. Utólagos számítások alapján húszezerre becsülik az akkori szökőár halálos áldozatainak számát.”

A vitát nem tudjuk eldönteni.

Bill McGuire 2005. január 3-án a délkelet-ázsiai szökőár kialakulásáról nyilatkozott. A pusztító hullámokat egy hatalmas, hirtelenül bekövetkező kéregmozgás váltotta ki, ahol az Indiai közetlemez kb. 15 métert mozgott Indonézia irányába. (Részletes beszámoló magyarul olvasható a <http://www.origo.hu/tudomany/fold/20050104ujrjarajzolta.html> címen.)

A világvége-forgatókönyvekről nem lehet, hogy ne jusson eszébe az olvasónak Armageddon (Harmagedón) a Jelenések könyve a 16. fejezetéből:

„¹Ekkor hallottam, hogy a szentélyből egy hatalmas hang így szólt a hét angyalhoz: "MenjeteK el, és öntsétek ki Isten haragjának hét poharát a földre!" ²Elment az első, kiöntötte a poharát a földre, és csúnya, rosszindulatú fekély támadt azokon az embereken, akiken a fenevad bélyege volt, és akik az ő képmását imádták. ³A második angyal is kiöntötte a poharát a tengerbe, és az olyanná lett, mint a halott vére, és minden élőlény elpusztult a tengerben. ⁴A harmadik angyal is kiöntötte a poharát a folyókba és a vizek forrásaiba, és azok vérré változtak. ⁵És hallottam, hogy a vizek angyala így szólt: "Igazságos vagy te, a Szent, aki vagy, és aki voltál, hogy így ítélteK." ⁶Mivel szentek és próféták vérét ontották ki, te is vért adtál nekik inni: megérdemelték." ⁷És hallottam, hogy így szólt az oltár: "Igen, Uram, mindenható Isten, igazak és igazságosak a te ítéleteid". ⁸A negyedik angyal is kiöntötte a poharát a napra, és megadatott neki, hogy gyötörje az

embereket annak tűző sugarával; ⁹és az emberek gyötrődtek a nagy hőségben, és káromolták az Isten nevét, akinek hatalma van ezek fölött a csapások fölött, de nem tértek meg, hogy dicsőséget adjanak neki. ¹⁰Az ötödik is kiöntötte a poharát a fenevad trónjára: országa elsötétült, nyelvüket rágták kinjukban, ¹¹kinjaik és fekélyeik miatt káromolták a menny Istenét, de nem tértek meg cselekedeteikből. ¹²A hatodik is kiöntötte a poharát a nagy folyamra, az Eufráteszre, és kiszáradt a vize, hogy megnyiljék a napkeletről jövő királyok útja. ¹³És láttam, hogy a sárkány szájából, a fenevad szájából és a hamis próféta szájából három tisztátalan lélek jön ki: olyanok voltak, mint a békák, ¹⁴mert ördögök lelkei ezek, akik jeleket tesznek, és elmennek az egész földkerekség királyaihoz, hogy összegyűjtsék őket a mindenható Isten nagy napjának harcára. ¹⁵"Íme, eljövök, mint a tolvaj: boldog, aki vigyáz, és őrzi ruháját, hogy ne járjon mezítelenül, és ne lássák szegyenét". ¹⁶És összegyűjtötték a földkerekség királyait arra a helyre, amelyet héberül Harmagedónnak neveznek. ¹⁷A hetedik angyal is kiöntötte a poharát a levegőbe, és hatalmas hang szólalt meg a szentélyből, a trónus felől: "Megtörtént". ¹⁸Ekkor villámlás, zúgás és mennydörgés támadt, és olyan nagy földrengés, amilyen nem volt, amióta ember született a földre: ekkora földrengés, ilyen nagy! ¹⁹A nagy város három részre szakadt, és a pogányok városai összeomlottak. A nagy Babilon is sorra került Isten színe előtt azzal, hogy adják oda neki Isten haragos indulata borának a poharát. ²⁰És eltűnt minden sziget, a hegyek sem voltak találhatóak sehol, ²¹talantum nagyságú jég esett az emberekre, és káromolták az emberek az Istent a jégeső csapása miatt. Ez a csapás ugyanis igen nagy volt."

A Jelenések könyve mellett a földtudományok majd minden ágát felvonultató 104. zsoltár is kellően érzékelteti az ember parányiságát.

A földi élet fennmaradását – és benne a geofizikai jellegű globális katasztrófák lehetőségét illetően a nem vallásos természettudósok a véletlenek sorozatára alapoznak. Marx György fizikus (Lakható-e a Föld? Magyar Tudomány, 1997, 10. szám, 1233-1243) előadásában ez a következőt jelenti:

„...A végtelen Univerzum egyik kis planétájának egén azonban süített a Nap. A vulkánok szén-dioxidot és gőzt leheltek ki. Atmoszféra képződött. Az atmoszférikus üvegház védelme alatt összegyűlt tócsában önszaporító élet támadt. A Nap fényesedett ugyan, de sziklák mállása, korallok

építkezése véletlenül épp olyan ütemben képezte a mészkövet, hogy az erősödő napsütést a szén-dioxid kivonása által ellensúlyozni tudta a légköri hővesztés. Eközben a hőmérséklet nemigen változott. Vulkánkitörések, gyorsan növő növényfajok elterjedése történetesen (de véletlenül) jól jött össze, de ez éppoly meglepő, mintha valakinek egy éven át minden héten ötös találata lenne a lottón. Földünkön már vagy hárommilliárd éve tart a szerencsés találatok sorozata.”

Vallásos természettudósok mindezt tömören így fogalmazzák meg: Isten kezében vagyunk.

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	2
ELŐSZÓ A MAGYAR VÁLTOZATHOZ	3
1. A FÖLD: RÖVID BEVEZETÉS	4
1.1. Veszély = a természet működés közben	4
1.2. A Föld rövid életrajza	4
1.3. A kockázatos Föld	6
1.4. A természeti kockázatok és az ember	7
2. GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS	9
2.1. Vita, de miről?	9
2.2. A nagy globális felmelegedési kísérlet	9
2.3. Az üvegház-Föld	10
2.4. A jó, a gonosz és az örült	13
3. A JÉGKORSZAK	14
3.1. Tűz vagy jég?	14
3.2. Hogyan lehet egy bolygót megfagyasztani?	14
3.3. Dickens fehér karácsonya és az ún. „kis jégkorszak”	16
3.4. Sütőből jégszekrénybe	17
4. A „BELSŐ” ELLENESÉG (SZUPERKITÖRÉSEK, HATALMAS SZÖKŐÁRAK ÉS AZ ELJÖVENDŐ NAGY FÖLDRENGÉS)	19
4.1. Földi pokol	19
4.2. Hullámsír	21
4.3. A halálváró város	23
5. FENYEGETÉS AZ ŰRBŐL	25
5.1. Kisbolygó- és üstökösbecsapódások	25
5.2. Kozmikus homokvihar	25
5.3. Világok összeütközése	27
5.4. Hogyan szeretne Ön meghalni?	29
EPILOGUS	33
UTÓSZÓ A MAGYAR VÁLTOZATHOZ	36