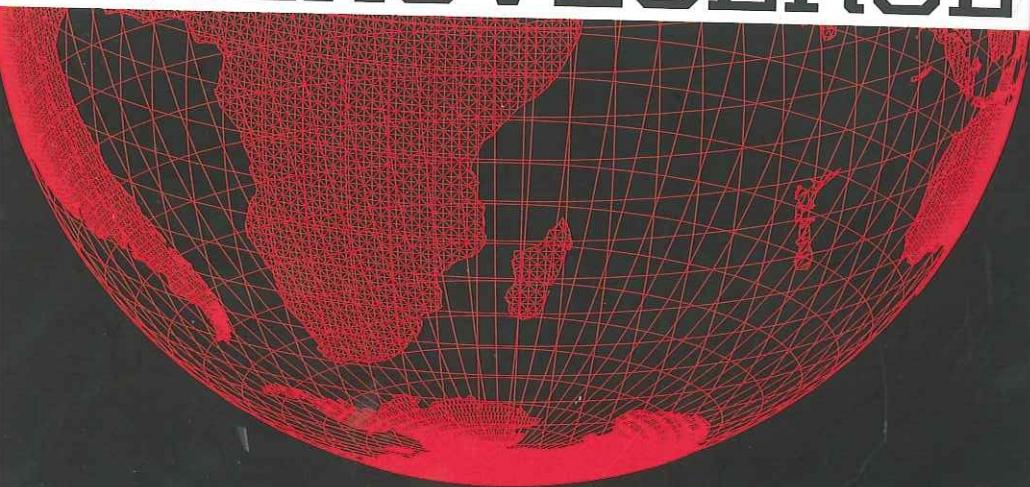


50 MEGHÖKKENTŐ ELMÉLET A VILÁGVÉGERŐL

ALOK JHA



50 MEGHÖKKENTŐ ELMÉLET A VILÁGVÉGÉRŐL

Alok Jha

hvg||J könyvek

A fordítás alapja:

Alok Jha: *The Doomsday Handbook: 50 Ways the World Could End*
First published in the UK by Quercus Editions Ltd, 2011

Copyright © Quercus, 2011

Copyright © Alok Jha, 2011

Fordította © Nagy Györgyi Eszter, 2012

Szerkesztette: Medgyesi Gabriella

Borítóterv: Juhász Gábor Tamás

HVG Könyvek

Kiadóvezető: Budaházy Árpád

Felelős szerkesztő: Török Hilda

Kiadói szerkesztő: Szűcs Adrienn

ISBN 978-963-304-084-3

Minden jog fenntartva. Jelen könyvet vagy annak részleteit tilos reprodukálni, adatrendszerben tárolni, bármely formában vagy eszközzel - elektronikus, fényképészeti úton vagy más módon - a kiadó engedélye nélkül közölni.

Kiadja a HVG Kiadó Zrt., Budapest, 2012

Felelős kiadó: Szauer Péter

www.hvgkonyvek.hu

Nyomdal előkészítés: Sörfőző Zsuzsa

Nyomás: AduPrint Kft.

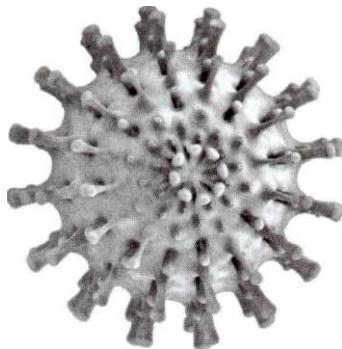
Felelős vezető: Tóth Zoltán

Tartalom

Bevezetés

EMBERI FENYEGETÉSEK

Tömeges kihalás
Világméretű járványok
A végítéletprogram
Kölcsönösen garantált
 megsemmisítés
Terrorizmus
A halál oka: eufória iÖ
Túlnépesedés
Halálozási spirál



TECHNOLÓGIAI VESZÉLYEK

Kiberháború 75
Biotechnológiai katasztrófa
Nanotechnológiai katasztrófa
Mesterséges szuperintelligencia



KÖRNYEZETI KATASZTRÓFÁK

Transzhumanizmus 110
A méhek pusztulása
Betolakodó fajok 125
A Föld elsivatagosodása 132
Globális élelmiszerlátság
Harc a vízért 148
A nyersanyagkészletek
 kimerülése
Az ökoszisztema összeomlása
Tengerszint-emelkedés
A Golf-áramlat leállása 182
Hógolyó Föld
Vegyianyag-szennyezés
Az ózonréteg pusztulása 206
Aszteroidabecsapódás
Megacunami 20
Szupervulkán
Oxigénihiány
Geomágneses pólusváltás
Szuperciklonok

ÚRBŐL JÖVŐ FENYEGETÉSEK

Napviharok

A tengelyferdeség változásai

Halálos ūrtörmelék

Elszabadult fekete lyuk 282

Kozmikus gamma-sugárzás 289

Vákuumbomlás 296

Szoláris ütközés 303

Mesterséges fekete lyukak

Ellenséges földönkívüliek

A Nap halála 327

Galaktikus ütközés

Az idő vége 341

Strangeletek



A GENETIKABAN REJLŐ VESZÉLYEK

Genetikailag létrehozott szuperemberek

Diszgenika

Szerves sejtpusztulás

MIT HOZ A JÖVŐ?

Mindez csak egy álom 83

Az információ kihalása

Ismeretlen ismeretlenek 397

Köszönetnyilvánítás

Képek forrása

Jegyzetek a magyar kiadáshoz 408

Név- és tárgymutató

Közeli a vég. Legalábbis a végre vonatkozó lebilincselő jövendölések szerint. Az emberiség történetét rengeteg végítéletre vonatkozó történet tarkítja, amelyek szerint az általunk ismert világra többnyire gyászos pusztulás vár. Próféták, bölcsék és mesélők ijesztgettek bennünket az égből hulló kénköves tüzes esővel, minden elpusztító, hatalmas áradással vagy egy láthatatlan erővel, amely egy mozdulattal képes megsemmisíteni minden és mindenkit. Bármi legyen is az út, egyvalami sohasem változik a véggel kapcsolatban: rettenetes dolgok történnek a bolygóinkkal, mindenjában meghalunk, a Föld pedig lakatlanná válik.

Bevezetés

A nagy világvallások egyik elengedhetetlen eleme a *vég* (más szóval ítéletnap), amit általában valamelyik istenség mér népére a Föld meg-tisztításának céljából, hogy aztán az emberiség egy újabb, erkölcsileg fejlettebb csoportja népesíthesse be az így megüresedett területeket. Amikor a bún és erkölcsstelenség mértéke elér egy határt, eljön az újrakezdés ideje. Ennek a gondolkodásmódnak egyik példája az a népszerű hiedelem, hogy egy ősi maya naptár szerint 2012-ben eljön a világvége. Biztosan állíthatom, hogy nincs hiteles bizonyíték arra, hogy ez a bizonyos év bármivel is végzetesebb lenne az azt megelőzőeknél.

Ezek a tűzről és hamuról szóló mesék magával ragadóak, és arra jöök, hogy ránk ijesszenek és óvatosságra intsenek. A világvégéről szóló kitalált történetek azonban elszürkülnek minden események mellett, amelyek valóban megtörténhetnek. A tudomány szemüvegén átvizsgálva a vég sokkal izgalmasabbnak tűnik.

Nézzük először a hagyományos elméleteket, amelyek szerint az általunk ismert világ elpusztul, mi pedig tehetetlenek vagyunk ezzel szemben: például hatalmas aszteroida csapódik be a Föld felszínébe, óriási méretű vulkánkitörések következtében elsötétül az ég, vagy éppen óceánokat felkavaró viharok pusztítják ki az életet a bolygón.

A földi élet történetében kizárálag az emberiség rendelkezik azzal a különleges képességgel, hogy újjá tudja építeni a saját világát - ugyanakkor el is tudja pusztítani azt. A klímaváltozás, a túlzott környezetszennyezés, a természeti erőforrások kizsákmányolása vagy a nukleáris fegyverkezés túlontúl valóságos fenyegetések napjainkban. Saját felelősségeinkre belekontárnak a gének és az atomok szerkezetébe, hiszen a nanotechnológia, a szintetikus biológia, a génmódosítás rengeteg lehetőséget rejt magában, hogy jobb minőségű élelmiszerhez, biztonságosabb gyógyszerekhez jussunk hozzá és egy tisztább világban éljünk. Nem megfelelő alkalmazásuk azonban katasztrófális következményekkel is járhat.

Az általunk létrehozott globalizált társadalom rengeteg előnyvel jár, ami a kereskedelmet és a tudáshoz, a műveltséghez való hozzáférést illeti, ugyanakkor ennek a szoros összefonódásnak a következtében a vírusok (emberi és számítógépes egyaránt) sokkal gyorsabban tudnak terjedni. Egy jól kiképzett terroristasejt (vagy egy intelligens gépezet) hatalmas veszélyt jelenthet a mai modern világ működésének nélkülözhetetlen elemeire: tönkreteheti az energia- és közellátó rendszereinket, fontos pénzügyi adatokat szerezhet meg vagy semmisíthet meg. Ha az Egyesült Államokban összeomlik a digitális rendszer, az másodperceken belül éreztetheti a hatását Kínában vagy Ausztráliában.

Azt gondolnánk, hogy legalább a galaxisnak az a szeglete, amelyben élünk, nyugodt hely. Naprendszerünk azonban korántsem annyira biztonságos, mint amilyennek hisszük, különösen egy olyan érzékeny bolygó számára nem, amelyik ilyen változatos életformáknak ad ott-hont. Jelenleg épp béke honol, de ez nem jelenti azt, hogy idővel nem fordulhat elő, hogy egy hatalmas meteorraj letarolja a Földet, esetleg egy elszabadult fehér törpecsillag összeütközik a Nappal és a világűr mélyére taszítja planétáinkat, vagy hogy egy erre tévedő gaz fekete lyuk minden elnyel végétlen gravitációjával. És mit tehetünk, ha egyszer valóban megjelennek nálunk a földönkívüliek, akikről kiderül, hogy nagyon is ellenségesek?

A megsemmisülés lehetőségének árnyékában élünk, a dolog iróniája pedig az, hogy minél világosabban látjuk az általunk ismert világgegyetem működését, annál sötétebbé és hosszabbá válik ez az árnyék. Ha nem tudnánk a kvantumrészecskék létezéséről és fogalmunk sem lenne, mi az a Nagy Bumm elmélet, akkor annak a lehetősége sem merülne fel bennünk, hogy a Föld egyik pillanatról a másikra egy vákuumbomlás következtében is megszűnhet létezni. Még csak most kezdjük megérteni, hogy az általunk ismert „idő” fogalma egy nap már semmit nem fog jelenteni világgeyetemünkben, ennek következtében a „mozgás” és „irány” is értelmét fogja veszíteni. Abban pedig csak reménykedni tudunk, hogy soha nem kerülünk szembe egy rakás halálos strangelettel valahol az univerzumban. Ez egy olyan anyag, amely elméletileg rendkívüli hasonlóságot mutat azzal a matériával, amelyből az egész világunk felépül, mégis roppant pusztító hatású lehet az életformánkra nézve.

Aggodalomra azonban még sincs ok. Bármelyik tudományos megközelítést is választjuk ahhoz, hogy megtudjuk, miként fog elérni bennünket az utolsó óra, biztosak lehetünk abban, hogy ezekből alig néhány jelentené a Föld végét. Valamivel könnyebb elviselni emberi világunk végének gondolatát, ha tudjuk, hogy bolygónk valószínűleg egész jól meglesz az emberiség és sok millió más faj kipusztulását követően is.

Van valami zavarba ejtő rejtély a Földön kialakult élet sorsszerűségében. Ott bujkál a háttérben, miközben az élő organizmusok sokféleségén ámulunk és azon, ahogy sok milliárd évvel ezelőtt egy langyos pocsolyában néhány molekula szaporodni kezdett, majd lassan kifejlődtek belőlük a trilobiták, a dinoszauruszok, a fák, a csigák, a fű, a majmok, a gombák és végül az ember. E rejtély neve: halál.

Tömeges kihalás

földi élet lenyűgöző 3,5 milliárd éves története során annak a 4 milliárd fajnak, amely eddigi ismereteink szerint valaha létezett, 99%-a mára már kipusztult. Bolygónkon a kihalás természetes. A Föld története során folyamatosan alakultak ki és tűntek el növény- és állatfajok az időjárás és a környezet változásainak függvényében. Egyeseknek a hideg kedvezett, mások csak a forró, párás éghajlatot kedvelték. A különböző fajok attól függően jelentek meg és tűntek el, hogy mennyire tudtak alkalmazkodni élőhelyük adottságaihoz, ráadásul minden szoros összefüggésben állt bolygóink sorsával és körülményeivel.

Az elmúlt 500 millió év során azonban öt alkalommal fordult elő, hogy a fajok eltűnésének egyenletes mértéke hirtelen megugrott. Valamiért, aminek az okát senki sem tudja biztosan, a Föld egyszer csak alkalmatlanná vált az életre, és az akkor élő növények és állatok jelentős része kipusztult.

Az ilyen tömeges kihalási események alkalmával a létező fajok több mint 75%-a tűnt el egy földtani szempillantás alatt.

A legutóbbi, 65 milliós évekkel ezelőtti tömeges kihalás óta vi-

szonylagos nyugalom uralkodik a Földön. Továbbra is veszítünk el fajokat, de csak a normális, átlagos mértékben. Az elmúlt évtizedek során azonban ökológusok és környezetvédők figyelmeztettek arra, hogy már a XXI. században szembesülnünk kell azzal az elkerülhetetlen tényel, hogy a Földnek egy újabb katasztrófális, csaknem minden életet elpusztító korszaka közeleg. Nyakunkon a hatodik tömeges kihalás, és a csavar ezúttal az benne, hogy pontosan tudjuk, mi okozza.

Az öt nagy kihalás

1982-ben Dávid M. Raup, a chicagói Field Természettudományi Múzeum (Field Museum of Natural History), és Jack Sepkoski, a Chicagói Egyetem geofizikai tanszékének munkatársa tanulmányt jelentetett meg a *Science* folyóiratban. Megvizsgálták az elmúlt 500 millió év során lerakódott tengeri fosszíliák családjának ezreit, mérve mennyiségüket és felhalmozódásukat, és azt figyelték meg, hogy bizonyos időszakokban a kihalás mértéke szokatlanul magas volt. Későbbi vizsgálatok megerősítették Raup és Sepkoski következtetéseit, amelyek szerint bizonyos események vagy azok láncolata katasztronfális méretű veszteségeket okozott a Föld több, egymástól távol eső pontján.

Az érintett állatok számát illető bizonytalanságok és a vizsgált időintervallumok hossza miatt a múltbeli tömeges kihalások esetében nemcsak az eltűnt fajok számát szokták megvizsgálni, hanem a nemzettségre (rendszeri alapkategória: több, egymással rokon faj gyűjtőneve) és a családra (több, egymással rokon nemzettség) vonatkozó adatokat is.

A Sepkoski és Raup által meghatározott legrégebbi tömeges kihalás kb. 450 millió ével ezelőtt következett be, amikor a gleccserek kialakulásának következtében jelentős mértékben csökkent az akkori tengerszint magassága. Ez az ordovícium-szilur kihalási esemény nagyjából 10 millió évig tartott, és a tengeri családok egyenegyedének és a vízben élő nemzettségek 60%-ának kipusztulásához vezetett. A legnagyobb veszteséget elszenvedő fajok közé tartoztak a pörgekarúak (*Brachiopodák*), az angolnaszerű konodonták és a háromkaréjú ősrákok (*Trilobiták*).

Ezt a késő devon kihalási esemény követte, amely hozzávetőleg 375 millió ével ezelőtt kezdődött, 25 millió évig tartott; ez idő alatt az összes család kb. 19%-a, az összes nemzettség 50%-a és az összes faj 70%-a pusztult ki. Ekkoriban rovarok, növények és az első kétéltűek népesítették be a szárazföldet - a tömeges kihalás ezek fejlődését is visszavetette.

Ezután egy jóval nagyobb mértékű kipusztulás következett: a perm-triász kihalási esemény. Kb. 250 millió évvel ezelőtt történt, és általában úgy emlegetik, mint a földtörténetben ismert legsúlyosabb tömeges kihalást: az akkor élő fajok 95%-a, a tengeri nemzetiségek 84%-a és a szárazföldi fajok (köztük növények és gerincesek) felbecsülhetően 70%-a pusztult ki. A rovarok egyharmada eltűnt a Föld felszínénéről, így ez volt az egyetlen kihalási esemény, ami ezt a rendet is érintette. Olyan mértékű volt az életformák vesztesége, hogy a paleontológusok csak úgy emlegetik ezt az időszakot: a Nagy kihalás. A szárazföldről eltűntek az emlősszerű hüllők, a gerincesek evolúcióját pedig több 10 millió évvel vetette vissza. Ennek okairól megoszlanak a vélemények - néhányan azt állítják, hogy egy hatalmas üstökös vagy aszteroida becsapódása okozhatta, de a mai napig nem sikerült az utána fennmaradt kráter létezését bebizonítani.

A Nagy kihalással összehasonlítva a legutóbbi két kihalási esemény kevésbé volt hatásos, bár mindenkor jelentősen befolyásolta az élet továbbfejlődését a Földön.

A triász-jura kihalási eseményt, amely 214 millió éve kezdődött és 10 millió évig tartott, feltehetően az Atlanti-óceán középső régiójából feltörő lávafolyamok idéztek elő. Ez az Atlanti-óceán szétnyílásához vezetett, és halálos mértékű globális felmelegedést okozott: a tengeri családok 22%-a és a nemzetiségek 52%-a kihalt. A szárazföldön ennek hatására nem maradt faj, amely versenyre kelhetett volna a dinoszauruszokkal.

Végül nézzük az emberek többségének leginkább ismerősen hangsúlyozott tömeges kihalást: azt, amelyik eltörölte a Föld színéről a dinoszauruszokat. Kb. 65 millió évvel ezelőtt, a kréta-tercier kor határán kö-

A KÖVETKEZŐ TÖMEGES KIHALÁSIG JÓSOLT ÉVEK SZÁMA

Kétéltűek: 242

Emlősök: 334

Madarak: 537

A jelenleg veszélyeztetett fajok

100 éven belüli kihalása esetén

vetkezett be, és ennek során a tengeri családok 16%-a, a tengeri nemzetiségek 47%-a és a szárazföldi gerinces családok 18%-a pusztult ki. Valószínűleg a Yucatán-félszigetbe és a Mexikói-öböl alá becsapódott egy hatalmas aszteroida, amelynek hatására porfelhő borította el az égboltot, elzárva a Nap sugarait. Az ennek következtében kialakult táplálékhiány okozta végül a nagytestű állatok kihalását a következő pár millió évben. Ezután jelentek meg az emlősök és madarak mint domináns életformák.

A hatodik tömeges kihalás

Manapság hozzászoktunk a fajok pusztulásához. Az újságok címlapjai kihalófélben lévő állatokról és növényekről szóló hírekkel vannak tele. Ismereteink szerint évente több tízezer faj hal ki úgy, hogy sokat közülük még nem is sikerült rendszertanilag besorolnunk. Kifogtuk az összes halat a tengerekből, annyi erdőt vágtunk ki és oly mértékben vadásztuk le a benne élő állatokat, hogy legközelebbi rokonaink, a vadon élő főemlősök veszélyeztetett fajjá váltak. A bolygó teljes állat- és növényvilágát kiszorítottuk a versenyből azzal, hogy egyre nagyobb mennyiségű földet és energiát sajátítunk ki. A népesség növekedésének következtében (becslések szerint a jelenlegi 7 milliárd helyett a XXI. század közepére már 9 milliárdan leszünk) ez a verseny egyre erősödni fog, aminek a következményeit elsősorban az állatok, és nem az emberek fogják megszenvedni.

Anthony D. Barnosky, a Kaliforniai Berkeley Egyetem biológusa összegyűjtötte a kihalással fenyegetett fajokra vonatkozó összes adatot azzal a céllal, hogy összehasonlítsa a jelenlegi fajok kipusztulásának mértékét a korábbi tömeges kihalások adataival.

A tanulmány 2011 márciusában jelent meg a *Nature* magazinban, s ebben Barnosky kifejti, hogy a tudósok egyre több ismerettel rendel-

keznek a fajok és populációk modern kori pusztulásával kapcsolatban. „A dokumentált adatok valószínűleg túl alacsonybecslések, mivel a legtöbb fajt még nem is rendszereztek megfelelően. Az ilyen megfigyelek arra engednek következtetni, hogy a közelgő hatodik tömeges kihalás legfőbb okozója maga az emberiség: a természeti erőforrások kisajátításával, a természetes élőhelyek szétdarabolásával, a nem honos fajok betelepítésével, a környezők terjesztésével, egyes fajok célzott ki-pusztításával és a globális klímaváltozás előidézésével.”

Barnosky viszonylag szigorú feltételeket szabott egy következő tömeges kihalási eseménynek: az egyes csoportokba tartozó összes faj 75%-ának kipusztulását tekintette mérvadónak. Számításai alapján arra az eredményre jutott, hogy a Föld a következő csúcspontot, azaz a hatodik tömeges kihalás szintjét alig néhány évszázadon belül fogja elérni. „Hány évre van még ahhoz szükség, hogy a jelenlegi kipusztulási ráta mellett a korábbi legsúlyosabb kihalási események szintjét elérjük? A számítások szerint, ha a jelenleg veszélyeztetett fajok mindegyike egy évszázadon belül kihalna és ez a mérték változatlan maradna, a szárazföldön élő kételtűek, madarak és emlősök pusztulása 240-540 éven belül érné el a korábbi tömeges kihalások szintjét (241,7 év a kételtűekre; 536,6 év a madarakra és 334,4 év az emlősökre vonatkozó becslés)” - írja Barnosky.

Amennyiben csak a súlyosan veszélyeztetett fajok kipusztulását vesszük alapul a következő száz évben, és ezekkel a kihalási rátákkal számolunk, az egyes csoportokat alkotó fajok 75%-ának eltűnése a kételtűek esetében 890 év múlva, a madarak esetében 2265 év múlva, az emlősök esetében pedig 1519 év múlva következne be. Barnosky legóvatosabb számításai szerint a kihalás a kételtűknél legkésőbb 4500, a madaraktól 11 300, az

A Föld hőmérsékletének előre látható, gyors emelkedése, ami az ember által okozott klímaváltozás következtében alakult ki, a bolygón élő fajok számát a felére is csökkentheti.

emlősöknél pedig 7500 év múlva következne be. „Ez arra enged következtetni, hogy a jelenlegi kihalási ráta nagyobb léptékű, mint a Föld történetében eddig előfordult legsúlyosabb kihalási események során; olyan súlyos mértéket ölhet, hogy a korábbi tömeges kihalások szintjét akár háromszáz éven belül is elérheti.”

A Yorki és a Leedsi Egyetem kutatói egymástól függetlenül vizsgálták a klíma és a biodiverzitás viszonyát az elmúlt 520 millió év során, és a kettő között egyértelmű kapcsolatot találtak. Amikor a Föld hőmérséklete elérte az üvegházzátnak megfelelő szintet, a kihalási ráta is viszonylag magas értéket mutatott. Ezzel szemben a hűvösebb körülmények között nőtt a biodiverzitás. 2007-ben a *Proceedings of the Royal Society* B-ben megjelentetett eredmények szerint a Föld hőmérsékletének előre látható, gyors emelkedése a bolygón élő fajok számát a felére is csökkentheti. Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) jelentése szerint a globális hőmérséklet a század végére akár 6 °C-kal is emelkedhet.

Elkerülhető-e a hatodik tömeges kihalás?

Nem valószínű. „A biodiverzitás újbóli növekedése várhatóan nem következik be emberi ésszel felfogható időn belül - állítja Barnosky. - Egy új faj kialakulása átlagosan több 100 ezer évet vesz igénybe, egy tömeges kihalást követően pedig valószínűleg évmilliókra van szükség ahhoz, hogy a biológiai sokféleség újra kialakuljon.”

Az eddigi tömeges kihalásokat jelentős környezeti hatások idéztek elő - a tengerszint változása, egy aszteroida becsapódása vagy a hirtelen hőmérséklet-változás. Ezúttal azonban az állatoknak és növényeknek valami jóval félelmetesebb és leküzdhetetlenebb dologgal kell szembenézniük, miközben a Földön eddig soha nem látott mértékben pusztulnak ki: velünk, emberekkel.

2009 telén a világ aggódva figyelte, ahogy valahol Mexikóban felütötte a fejét a sertésinfluenza, és rohamosan terjedni kezdett. Miközben a hatóságok igyekeztek megfékezni a járványt, a félelem szinte tapintható volt a levegőben: vajon ez az a rettegett kór, amely elpusztíthat mindannyunkat?

sertésinfluenza az első esetek észlelését követő néhány napon belül már megjelent az Egyesült Államokban, majd Európában is, az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization, WHO) pedig teljes körű készültséget jelentett be a járvány miatt. Az influenzavírus valamely törzse minden évben megjelenik, de a H1N1 az átlagosnál jóval ellenállóbb és gyorsabb terjedésű volt.

Négy évvel korábban egy még agresszívebb kór ütötte fel a fejét a világ egy másik szegletében: a H5N1 madárinfluenza. Az egészségügyi hatóságok magas készültséget rendeltek el, és minden vadon élő szárnyast gyanakodva figyeltek, hiszen bármelyikük hordozhatta a vírust, amely Kelet-Ázsiában már az emberekre is átterjedt, és halálos áldozatokat szedett közülük.

A világméretű járványok egyik közös jellemzője a gyors terjedés. Az imént említett két esetben a járvány pár hónapon belül lecsengett,

HALÁLOS ÁLDOZATOK SZÁMA

1918 spanyolnátha

50 millió halott

6 hónap alatt

és sikerült megakadályozni az egész világot veszélyeztető elterjedését. A tudósok, orvosok és egészségügyi hatóságok azonban csendben tovább aggódnak, hogy egyszer csak egy jóval fertőzőbb és legyőzhetetlen, rettentetés vírus üti fel a fejét, amely többmilliós, sőt milliárdos halálos áldozattal járhat.

A WHO adatai szerint a H1N1 sertésinfluenza végül 18 ezer halálos áldozatot szedett, a H5N1 pedig 2005 végéig 74 ember halálát okozta közvetlenül. Ezek a számok jelentéktelennek tűnnek, ha összehasonlítjuk őket az egyszerű influenzára vonatkozó adatokkal, amelyek becslések szerint évente 250-500 ezer közötti halálos áldozatot jelentenek.

A szakértőket a vírus terjedésének hónapjaiban leginkább az eddig ismert legrettenetesebb járvány emléke nyugtalanította. A világ éppen hogy tűiéit egy pusztító háborút, amikor 1918-ban kitört a spanyolnáthajárvány. Hat hónap leforgása alatt a vírus 50 millió áldozatot

követelt, különösen a 25-40 éves korosztályból. Az 1957-es és 1968-as ázsiai influenzajárványok szintén milliók halálát okozták. Ma, amikor az utazás még egyszerűbbé és gyorsabbá vált, és az emberek nagy része sűrűn lakott városokban él, az 1918-ashoz hasonló járvány pusztító hatású lenne.

Hogyan terjednek el a fertőző betegségek?

Reggel enyhe fejfájással ébredsz, de úgy döntesz, mégis bemész a munkahelyedre. Reggeli közben megbeszél a gyerekekkel a napi teendőket, majd megcsókolod őket, mielőtt elindulnak az iskolába. Munkába menet nem találsz ülőhelyet a zsúfolt metrón. Az irodában egész nap találkozókon veszel részt.

Estére sokkal rosszabbul érzed magad, ráz a hideg, az orrod pedig már délután elkezdett folyni. Másnapra egyértelművé válnak az influenza tünetei, ezért úgy döntesz, ágyban töltöd a napot.

Vajon hány tucatnyi emberrel találkoztál eddig a pontig? Hányat fertőzhettél meg? Közülük hányan fertőztek meg másokat is a vírussal? Az általad megfertőzöttök közül hányan utaztak el egy másik városba vagy repültek el egy másik országba? Egyetlen nap alatt ebből az egy esetből tucatnyi fertőzés alakult ki, egy hét elteltével pedig már ezrek hordozhatták a vírust világszerte.

Nem csak a halálesetek jelentenek problémát

Senki sem hibázthatató azért, ha a járványokkal kapcsolatos jelenkorú aggodalmakat eltúlzottnak tartja. A történelem során számos nagy kiterjedésű járvány fordult már elő (az 1348-as pestisjárvány Európa népességének egyharmadát elpusztította), az emberi civilizáció mégsem

tűnt el a Föld színéről. Az orvostudomány is jóval fejlettebb manapság. Miért kellene aggódnunk?

A modern világban élő emberek sokkal szorosabban kapcsolódnak egymáshoz, mint eddig valaha. Egyebek között szorosan függünk a globális élelmiszer- és gyógyszerellátó rendszerektől. Ha ennek a hálozatnak bármelyik nélkülözhetetlen eleme kiesik, márás óriási bajban vagyunk.

Vegyük például a teherautó-sofőrököt! Egy enyhébb lefutású világmeretű járvány esetén ők is ágynak eshetnek, vagy beteg családtagjait kell otthon ápolniuk. Ha bezárják az iskolákat, nekik is otthon kell maradniuk a gyerekekkel. Ha a teherautók egy jelentős része nem tud útra kelni, leállhat a teljes áruszállítás. Régebben a boltok nagy raktárkészletet tartottak, sok minden más mellett élelmiszerből és oltóanyagokból is. Egy ilyen raktár fenntartása azonban igen költséges, az informatikai és logisztikai rendszerek fejlődése következetében pedig az üzletek átálltak a kisebb mennyiségű, gyakoribb megrendelésekre.

Az Egyesült Államokban a hatóságok három hétre elegendő élelmiszer- és vízkészlet tartalékolását javasolják egy országos járvány esetén, ezzel szemben a legtöbb városban világszerte csak pár napra elegendő élelem áll rendelkezésre.

Mi a helyzet a kórházakkal? Ezek rendszeres gyógyszer-, vér- és sterileszköz-utánpótlást igényelnek, a mentőautóknak folyamatos üzemanyag-ellátásra van szükségük, amit valakinek el kell juttatnia az olajfinomítótól a benzinkutakig. Vajon mi történne, ha mindenek, akik az áru- és üzemanyag-szállításért felelősek, nem tudnának munkába állni?

Mi a helyzet az országos áramellátáshoz szükséges energiaforrásokkal? Az Egyesült Államok elektromos szükségletének a felét széntüzelésű erőművek biztosítják, és ha egy országos járvány hatására a mozdonyvezetők nem tudnák elszállítani a szükséges szenet a bányákból az áramfejlesztőkhöz, hamar kialudnának a fények országszerte.

Az áramellátás megszűnése egészen más problémákat is felvetne: a kikapcsolt hűtőkben megromlana az étel, nem lenne mit főzni, a rádió- és televíziócsatornák nem sugároznának többé, a telefonok és számítógépek is használhatatlanok lennének, így elérhetetlenné válna a kritikus infrastruktúra, a gazdaság működését elősegítő szervezetek, létesítmények összessége.

2006-ban Warwick McKibbin közgazdász, a sydneyi Lowy Nemzetközi Politikatudományi Intézet (Lowy Institute for International Policy) munkatársa azt modellezte, hogy az 1918-ashoz hasonló méretű járvány milyen hatással lenne a gazdaságra napjainkban. „Az enyhébb lefutású verzió, amely feltehetően kb. 1,4 millió életet követelne, a teljes termelést az első évben 1%-kal, azaz megközelítőleg 330 milliárd dollárral vetté vissza (a 2006-os árakat változatlannak tekintve) - állította. - Modellünkben a járvány méretének növekedésével együtt emelkedtek a gazdasági költségek is. A következő, borítatóbb forgatókönyv szerint a több mint 142 millió halálos áldozatot követelő járvány hatására világszerte jelentős mértékben lelassulna a gazdaság, és egyes fejlődő országok gazdasági teljesítménye a felére csökkenne. A termeléskiesés ebben az esetben az első évben elérné a 4,4 milliárd dollárt, azaz a globális GDP 12,6%-át.”

2002-ben például a viszonylag enyhe lefolyású SARS-vírus (Severe Acute Respiratory Syndrome, súlyos akut légzőszervi szindróma) alig pár hónap alatt 26 országban terjedt el, több mint 8000 ember fertőződött meg, és több mint 700 ember halálát okozta tüdőgyulladásra emlékeztető tüneteivel. Aránytalanul megnőttek azonban a gazdaság járulékos költségei a járattörlek, iskolabezárások és az ázsiai pénzügyi piacokon kitört pánik miatt: összesen 40 milliárd dollárjába került minden a világnak. „A fejlődő országok szegénység ellen küzdő és egészségügyi programjainak támogatása kulcsfontosságú a világméretű járványok eleni hosszú távú küzdelemben - állítja McKibbin. - Egyelőre azonban

olyan világban élünk, ahol egy aránylag kisméretű influenzajárvány kitörése Mexikóvárosban megingathatja a tokiói piacokat."

Aggodalomra okot adó betegségek

A H5N1 madárinfluenza-járvány 2005-ben azért nem bizonyult annyira veszélyesnek, mint amennyire tartottak tőle, mert fertőzőképessége ellenére a vírus emberről emberre nem terjedt könnyen. Azok, akik belehaltak, mind szárnyasok közvetlen közelében éltek. Ha azonban létrejönne a vírus emberi influenzavírussal kombinált mutációja, annak igen gyorsan szörnyű következményei lennének.

Nem az influenza az egyetlen aggodalomra okot adó betegség. Ahhoz, hogy még időben észleljük a következő problémás vírus felbukkanását, érdemes figyelemmel kísérni a vadon élő állatokat és a velük kapcsolatba kerülő embereket. „Véleményünk szerint az effajta megfigyelések segítségével a járványokat még azelőtt meg tudnánk akadályozni, hogy terjedni kezdenének - állítja Nathan Wolfe, a Stanford Egyetem biológusa és a Globális Vírus-előrejelző Kezdeményezés (Global Viral Forecasting Initiative, GVFI) igazgatója. - Az újabb veszélyeket csak akkor tudjuk időben felismerni, ha a tudósok tisztában vannak vele, milyen fertőzésekre hajlamosak azok a fajok, például a madarak és a disznók, amelyek nagy valószínűsséggel a világméretű járványokat okozó vírusokat hordozzák. Míg a H5N1 madárinfluenza-járvány következtében az elmúlt 5-6 évben rengeteget fejlődött a szárnyasok megfigyelése, a tudósok nagyon keveset tudnak a becslések szerint világszerte 941 millió házisertést megfertőző vírusokról."

Wolfe szerint ha a tudósok 30 évvvel ezelőtt megfigyelték volna, hogy a vadászok hogyan érintkeznek a vadon élő állatokkal, talán időben felfedezték volna a HIV-vírust, még mielőtt világméretű problémává nőtte volna ki magát. Manapság azonban inkább az a kérdés, hogyan

akadályozhatjuk meg egy következő nagyszabású halálos járvány ki-alakulását. Wolfe azt javasolja, hogy figyeljünk jobban oda az állati vírusok emberre történő átterjedésének mintázatára, mert így talán még időben megkongathatjuk a vészharangot, mielőtt egy újból felbukkanó fertőző betegség halálos áldozatokat szedne.

A GVFI tudósai számos országban végeznek megfigyeléseket a lakosságon és az állatvilágon, ilyen például Kamerun, Kína, a Kongói Demokratikus Köztársaság, Laosz,

Madagaszkár és Malajzia - minden olyan gócpontok, ahonnan az emberre veszélyes fertőző betegségek jó eséllyel elterjedhetnek. Az ilyen betegségek több mint fele,

beleértve az influenzát, a SARS-t,

a dengue-lázat és az ebolát, állatokról terjedt át az emberekre. A vadászok és zsákmányuk vérének vizsgálata során számos olyan állati vírust mutattak ki, amelyek korábban nem fordultak elő az emberekben, ilyen például a HIV vírustörzsbe tartozó simian foamy vírus (SFV).

A szintetikus vírusokat még nem is említettem, amelyeket megáltal-kodott emberek állítanak elő mesterséges úton. Ma még igen bonyolult dolog genetikailag módosított, fertőző és egyben gyógyszerrezisztens organizmusokat létrehozni és elterjeszteni, de ez nem sokáig marad így.

Az influenza volt a XX. század tömegpusztító fegyvere, hiszen több áldozatot szedett, mint a nácizmus, az atombomba vagy az I. világháború.

Mit tehetünk?

Pár hónappal az után, hogy a H1N1 sertésinfluenza-járvány lecsengett, Peter Sandman, a Princeton Egyetem kockázatközlési tanácsadója a következő tanulságokat vonta le a *Nature*-ben megjelent írásában: „Az egyszerű állampolgárok számára az Egyesült Államok kormánya eddig csak a higiéniai előírások betartását javasolta, azaz hogy maradjanak

otthon, ha betegek, és mossanak gyakran kezet. Ezzel szemben nem tett említést arról, hogy tölték fel élelmiszer-, víz- és egyéb létfontos-ságú készleteiket, valamint szerezzék be receptre kiadható gyógysze-reiket - írta. - A készenlétnak van egy fontos, de gyakran elfelejtett velejárója: a felkészülés megnyugtat. Attól, hogy van mit tenniük, az emberek úgy érzik, kézben tartják az eseményeket, magabiztosabbá válnak, és könnyebben legyőzik a félelmeiket."

Abban biztosak lehetünk, hogy egy világméretű járvány bármikor felütheti a fejét. „Az influenza volt a XX. század tömegpusztító fegyvere, hiszen több áldozatot szedett, mint a nácizmus, az atombomba vagy az I. világháború - állítja John Oxford, a Royal London School of Medicine and Dentistry virológusa. - Jól tennénk, ha alaposan elgondolkodnánk ezen a tényen. A természet a legrettenesebb bioterrorista, nekünk pedig minden figyelmünket és erőforrásunkat az egészségügyre kellene fordítanunk. A felbukkanó vírusok ugyanolyan könnyen és gyorsan végezhetnek velünk, mint az 1918-as spanyolnáthajárvány idején.”

Az emberiség a hidegháború idején állt a legközelebb ahhoz, hogy egy Armageddon-szerű katasztrófát előidézzen. A II. világháborút követő évtizedekben az Egyesült Államok és a Szovjetunió nukleáris rakéták ezreit gyártotta és célozta meg velük a másik ország fontosabb városait. Egyetlen ilyen rakéta kilövése óriási csapást mért volna az ellenségre, az összes felrobbantása pedig az egész világot elpusztította volna.

A végítélet-program

indkét oldalon tisztában voltak egy totális atomháború következményeivel, és mára az is egyértelművé vált, hogy egyik fél sem akarta kirobbantani. Akkoriban azonban mindenki legyőzhetetlennek akart tűnni ellenfele szemében, olyannak, aki bármilyen támadás esetén azonnal kész az ellencsapásra. A blöff, ellenblöff és általános paranoia időszaka volt ez.

Egy valódi nukleáris támadás természetesen mindenki felet váratlanul érte volna. A radarkezelő megpillant a képernyőn egy villogó piros pontot, amely gyorsan és biztosan közeledik a főváros felé, és már csak pár perce maradt a végzetes döntés meghozatalára. Vajon ez valódi

támadás? Mi van, ha a teljes körű ellentámadás elindítását követően a piros pontról kiderül, hogy csak egy vadlibaraj?

Az oroszok sokat törték a fejüket az ellentámadás problémáján, míg végül létrehoztak egy olyan rendszert, amelynek segítségével némi időt nyerhettek arra az esetre, ha megpillantanák azt a bizonyos villogó piros pontot a radar képernyőjén. Ha valamilyen oknál fogva egy ilyen esetben nem tudnák eldönteni, hogy valódi támadás érte-e az országot vagy sem, a rakétakilövés felelősséget egy Periméter nevű önműködő rendszerre irányítanák át, ami Mertvaja Ruka, azaz Holt kéz néven vált ismertté. Ezt a végíteletprogramot úgy terveztek meg, hogy csak akkor lépjön működésbe, ha a támadás megerősítést nyert, és akár a szovjet vezetők teljes körű megsemmisítése esetén is képes legyen elindítani egy megtorló csapást.

Amikor a gépek átveszik a hatalmat

Stanley Kubrick *Dr. Strangelove*¹ című filmjében egy őrült amerikai táborkon úgy dönt, megtámadja a Szovjetuniót. Az oroszok elárulják az amerikaiaknak, ha az elindított nukleáris rakéta célba ér, nincs módjukban megakadályozni, hogy egy automata végíteletprogram totális megtorló csapást mérjen a világra: világszerte 50 hidrogénbomba robbanna fel egy Szovjetuniót érő támadás esetén. Ezek együttesen olyan mennyiségű radioaktív anyagot bocsátanának ki, amennyi 93 évre lakhatatlanná tenné a Föld felszínét. A világon senki, még az oroszok sem lennének képesek ezt megakadályozni.

Azt gondolnánk, hogy egy ilyen rendszert a valóságban senki nem hozna létre. Pedig ez történt. A szovjet hadsereg által terveztetett Periméter abban az esetben is elindította volna a nukleáris rakétákat, ha a teljes vezérkar meghal egy háborúban. Ha az oroszok elleni váratlan

támadás során a hadsereg parancsnokai kénytelenek lettek volna megadni magukat, a megtorló lépés akkor sem maradt volna el.

„A Perimetér valójában egy nagyon szépen kidolgozott rendszer - álította 2009-ben a *Wired* magazinnak adott interjúban Valerij Jarinics, a Szovjetunió volt ezredese, aki 30 éve a Szovjet Stratégiai Rakétahaderő (Soviet Strategic Rocket Forces, SSRF) vezérkarának veteránja -, amelynek segítségével megvonjuk a politikusoktól és a hadseregtől a kizárolagos döntési jogot.”

Stanley Kubrick 1964-es filmklasszikusában, a *Dr. Strangelove*-ban a világ éppen egy atomháború küszöbén áll. Peter Sellers (jobbra) játszsa Merkin Muffleyt, az Egyesült Államok elnökét, és a címszereplő Dr. Strangelove-ot, Muffley tudományos tanácsadóját is.



Dávid Hoffman, a *The Washington Post* volt újságírója és moszkvai irodájának vezetője is említést tesz a Periméterről *Dead Hand: The Untold Story of the Cold War Arms Race and its Dangerous Legacy* (Holt kéz: A hidegháborús fegyverkezési verseny titkos története és veszélyes öröksége) című könyvében. Állítása szerint ez a program „alternatív megoldást kínált: egy piros gomb megnyomásával a vezetők egyszerűen átruházhatták a döntés felelősséget valaki másra. Mintha azt mondta volna: fogalmam sincs, hogy valóban megtámadtak-e minket, ezt döntse el valaki más.”

A forgatókönyv szerint a katonai vezetők lényegében egy programot aktiválnak, ami jelent ad egy titkos atombunker mélyén folyamatosan szolgálatot teljesítő háromfős egységnek. „Ha egy rakétatámadás telibe találná a Kremlt és a teljes szovjet vezérkart megölné, ennek a három tisztnek ott a titkos bunker mélyén el kell döntenie, hogy fellőjék-e azokat a kisebb méretű vezérlőrakétákat, amelyek az egész Szovjetunió felett átrepülve aktiválják a többi rakétát.”

Hogyan működött volna a rendszer?

A földrengést, radioaktív sugárzást és légnymomást érzékelő eszközökkel felszerelt Periméter a nukleáris robbanásra utaló jeleket figyelte megállás nélkül a Szovjetunió és környékének területén és légterében. Ha a mért adatokat úgy értelmezte volna, hogy az országot atomtámadás érte, elsőként ellenőrzi, hogy kapcsolatot tud-e létesíteni a szovjet vezérkarral, azaz hogy valaki a döntéshozók közül életben van-e még. Ha a telefonvonalak süketek, azt a következetést vonja le, hogy az országot megtámadták, és nincs senki, aki ellentámadást indítana. Ezt követően a teljes szovjet rakétaüzem vezérlését átirányítja egy titkos föld alatti atombunkerbe, ahol az ügyeletes tisztet teljes körű felelős-

seggel ruházta volna fel, hogy a katonai parancshierarchiát mellőzve, azonnal rakétatámadást indítson.

Amennyiben a (valószínűleg, de nem feltétlenül) rangidős ügyeletes tiszt úgy döntött volna, hogy a Szovjetuniót atomtámadás érte, pályára állítja az országszerte kilövésre várakozó vezérlőrakétákat, amelyek azután már a levegőből jelzik a megmaradt szovjet nukleáris rakétáknak, hogy a Szovjetunió túlélte az amerikai atomtámadás első hullámát. Ugyanezek a vezérlőrakéták indították volna el automatikusan azokat a pusztító nukleáris rakétafejeket, amelyek végül a támadást kezdeményező Egyesült Államokra zúdultak volna le.

A tervezet szerint a Periméter inaktív maradt volna egészen addig, amíg a hadsereg vezérkarából valaki úgy nem dönt, hogy rendkívüli szükségállapot miatt aktiválja. A szovjet haderő korábbi tagjai közül többen megerősítették a létezését: 1990-ben a Szovjetunió Kommunista Pártja Központi Bizottságának tagjai a szovjet atomháborús képzültségre vonatkozó adatokat adtak át a Braddock, Dunn & McDonald amerikai hadiipari cég képviselőinek.

Varfolomej Korobusin, a Szovjet Stratégiai Rakétaüzem (SSRF) volt vezérkarifőnök-helyettese szerint a hidegháború alatt az oroszok legnagyobb félelme egy amerikai támadás volt, ezért legfőbb céljuk egy olyan rendszer kiépítése lett, amely az első csapás észlelését követően azonnal képes ellen támadást indítani. „Jelenleg is rendelkezésünkre áll az a rendszer, amely automatikusan minden megmaradt rakétát útjára indítana még abban az esetben is, ha az összes nukleáris parancsnoki központunk és vezetőnk megsemmisülne - állította. - Ez a Holt kéz-program, amely atomvillanás, radioaktivitás és túlnyomás együttes érzékelése esetén aktiválódott volna, számos vezérlőrakétát állítva pályára, amelyek aztán indítási kódokat küldenek megmaradt nukleáris rakétainknak.”

Vitalij Katajev, a hadiipar elnökének vezető tanácsadója szerint a Holt kéz-program aktiválásával a központi döntéshozó egyszerűen

véget vetett volna a tűzszünetnek, és a nukleáris rakéták kilövését az egyes vezérlőrakétákat irányító helyi automatikus indítórendszerek hatáskörébe utalta volna át. „Az érzékelőkkel ellátott indítóberendezések azonnal pályára állítják a lokális vezérlőrakétákat és a hozzájuk kapcsolódó interkontinentális ballisztikus rakétákat (Intercontinental Ballistic Missile, ICBM), mihelyst a szenzorok atomtámadáshoz köthető villanásokat, földrengést, radioaktív sugárzást és légköri változásokat érzékelnek.”

Katajev hozzátette, hogy ez a rendszer „még az 1980-as évek elején is működőképes volt. Fontos megértenünk, hogy a Holt kéz beindítása abból a politikai és katonai vezetőinkre nézve rendkívül fenyegető feltételezésből indul ki, hogy a vezérlőrakéták automatikus elindításának pillanatában a döntéshozók már mind halottak lennének.”

Miért hozták létre?

Elképzelní is rettenetes egy Periméterhez hasonló rendszer létezését, hiszen akkor is folytatta volna a rombolást, amikor az ország, amely aktiválta, már rég elpusztult. Abban az időben, amikor létrehozták, a Szovjetunió meg volt győződve arról, hogy az amerikaiak indítanák a kezdő támadást.

Az 1980-as években Ronald Reagan nyíltan beszélni kezdett a Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (Strategic Defense Initiative, SDI) programjáról, népszerűbb nevén Csillagháborús tervről, amely lézer- és rakétarendszerek segítségével védte volna az Egyesült Államokat egy nukleáris támadástól. Az 1970-es évek viszonylag békés légkörét követően az oroszokat meglepte az a tény, hogy az amerikai elnököt látszólag nem nyugtalanította egy ilyen támadás. Az Egyesült Államok új kormánya védelmi retorikájában egyre nagyobb hangsúlyt fektetett az

ország erősségeire, és egyre kevesebbszer emlegette az esetleges atomháborút követő, radioaktív szennyeződéssel számoló apokaliptikus forgatókönyveket.

Reagan nem győzte hangsúlyozni, hogy a Csillagháborús terv kizárolag az ország védelmét szolgálja, Moszkvában azonban továbbra is meg voltak győződve arról, hogy az amerikaiak támadásra készülnek. Az oroszok nem szívesen indítottak volna el egy megelőző támadást, így a Periméter maradt az egyetlen biztosíték számukra, hogy ha az Egyesült Államok mégis beveti a fegyverarzenálját, nem a Szovjetunió lesz az egyetlen ország, amely elpusztul. Ha másra nem, elrettentésre jó volt.

Azt azonban minden katonai elemző jól tudja, hogy az elrettentés csak akkor hatékony, ha az ellenség tisztában van vele, mit fogunk tenni egy támadás esetén. Sajnos semmiféle bizonyíték nincs arra vonatkozóan, hogy bármelyik magasabb beosztású amerikai tiszttiselő tudott volna a Periméter létezéséről. Még a Kubrick filmjében szereplő őrült tudósnak is feltűntek volna ennek a stratégiának a szembe szökő hiányosságai.

A Peter Sellers által alakított Dr. Strangelove így kiált fel, amikor megtudja, hogy a Szovjetuniót ért támadás esetén automatikusan felrobban az az 50 kobalittal borított hidrogénbomba, amit világszerte titokban elástak: „Igen, de... mi értelme az egész végitéletprogramnak, ha titokban tartják? Miért nem figyelmeztették a világot?”

Jelenleg is rendelkezésünkre áll az a rendszer, amely automatikusan minden megmaradt rakétát útjára indítana még abban az esetben is, ha az összes nukleáris parancsnoki központunk és vezetőnk megsemmisülne.

Vajon ma is be lehetne venni?

Az egyik legrémisztőbb doleg a Periméterrel kapcsolatban, hogy valószínűleg még mindig létezik valahol. „Nem tudjuk biztosan, hogy a Kreml egy titkos termében megtalálható-e az a bizonyos kapcsoló - mondta Hoffman egy Terry Gross-szal készített interjúban az amerikai Nemzeti Közszolgálati Rádióban (NPR). - Úgy vélem azonban, hogy a vezérőrakéták, a bunker, az egész Periméter-rendszer még mindig létezik valahol és bevetésre vár. Sőt az egész program irányítórendszere is működőképes még... Úgy tudom, a vezérlés struktúráját átalakították, de határozottan állítom, hogy abban a bunkerben még mindig ott van az a három ember, és az egész rendszer bármikor aktiválható, bármikor bevethetik.”

Az, hogy a Periméter vagy más hasonló titkos rendszer a világban a jövőben bevetésre kerül-e, attól függ, hogy a nukleáris hatalmak egyre népesebb táborán belül milyen diplomáciai viszonyok uralkodnak. A múltban talán az atomfegyverek tűntek a legjobb megoldásnak, hogy a világot megóvjuk a háborúktól, a leszerelés azonban még soha nem tűnt annyira jó ötletnek, mint manapság.

A hidegháború alatt fenyegető globális atomháború veszélye remélhetőleg már a múlté. A hataloméhség azonban továbbra is az emberi faj sajátja maradt, és az újonnan megjelenő nukleáris hatalmak továbbra is a totális megsemmisüléssel fenyegetik a világot.

Kölcsönösen garantált **megsemmisítés**

háborúk során a szembenálló felek általában mérlegelik a harc koc-kázatait, és abban reménykednek, hogy győzelem esetén ők fognak jobban járni, ezért a nagyobb cél érdekében áldozatokat hoznak.

Az ún. kölcsönösen garantált megsemmisítés (Mutually Assured Destruction, MAD) azonban valami egészen másról szól. Ez a hidegháborús kifejezés azt a helyzetet írja le, ami akkor következett volna be, ha a két szuperhatalom, az Egyesült Államok és a Szovjetunió beváltották volna fenyegéseiket, és több ezer nukleáris rakétát kilőnek egymásra. Mindkét fél tisztában volt vele, hogy egy ilyen döntés nem csak rájuk, de az egész bolygóra nézve is katasztronfális következményekkel járt volna. A kifejezés önmagáért beszél: egy nukleáris háború kirobbanása esetén mindenki fél számára garantált lenne az ellenség totális elpusztítása.

Egy atomrobbanás néhány perc leforgása alatt emberek millióit ölné meg, de a rákövetkező hónapok, évek során további milliárdok halnának bele a radioaktív sugárzás által okozott betegségekbe, és halnának éhen, miután a Föld növény- és állatvilága is elpusztulna, felszíne pedig terméketlen sivataggá változna.

Ne gondoljuk, hogy ez a veszély már a múlté! Nagy kapacitású számítógépek és bonyolult időjárási modellek segítségével tudósok kimutatták, hogy egy kisebb regionális konfliktus során (például India és Pakisztán között) a légkörbe kerülő füst és korom képes lenne évekre tönkretenni a világ mezőgazdaságát, és az élővilág széles körű pusztulása nem csak ebben a két országban következne be. Az effajta nukleáris háborúk pusztító potenciáljára igen találó a fejezet címében szereplő kifejezés angol rövidítése: MAD, azaz ōrült.

Az atomkor

Az első atombombát 1945. augusztus 6-án dobták le Japánban Hiroshima-ra. A Little Boynak, azaz Kisfiúnak elnevezett bombát pár nappal

később a Fat Man, azaz Kövér ember követte, amelyik Nagaszaki fölött robbant fel. Mindkettő több 10 ezer ember azonnali halálát okozta, az életben maradók pedig életük végéig a radioaktív sugárzás okozta betegségektől szenvedtek.

A nukleáris robbanófejeket 1940-ben fejlesztették ki a szupertitkos Manhattan-projekt részeként a Los Alamos Nemzeti Laboratóriumban (Los Alamos National Laboratory). Az Egyesült Államok hadseregének dolgozó tudósok így megelőzték a németek hasonló törekvéseit, és egyesek szerint ezzel felgyorsították a II. világháború befejezését.

Az atombomba pusztító erejének demonstrálását követően azonban csak idő kérdése volt, és a tudósok szerte a világon létre akarták hozni hazájuk saját nukleáris fegyvereit. Szerencsére bármilyen egyszerűnek is tűnik egy atombomba elkészítése elméletben, a gyakorlatban minden jóval bonyolultabb.

Atombomba készítésére az olyan nehézfémek a legalkalmasabbak, amelyek atomjai képesek külső hatásra kettéhasadni. Erre a célra tökéletesen megfelel például az urán, amelynek a természetben két izotópja is előfordul: az U-238 és az U-235. Mindkét izotóp radioaktív, atommagjuk hasadásra képes, bár csak az U-235 esetében lehet ezt mesterségesen előidézni, ha neutronokkal bombázzák. Maghasadáskor energia és újabb neutronok szabadulnak fel, amelyek újabb atommagokat képesek hasadásra készítetni. Ha egy időben nagyobb mennyiségű atommag hasad meg, a láncreakció önfenntartóvá válik.

Az atombombát kifejlesztő tudósok számára az első számú problémát az U-235 izotóp beszerzése jelentette - ebből legalább 50 kg-ra van szükség egy bomba elkészítéséhez. A természetben többnyire csak az U-238 izotóp található meg, amiből aztán ki kell szűrni, majd növelni az U-235 izotóp koncentrációját. A nehézségek csak ekkor kezdődnek: minden 25 ezer tonna uránszurokércből mindössze 50 tonna fém termelhető ki, aminek alig 1%-át teszi ki az U-235 izotóp. Ráadásul a két izotóp nem választható külön a hagyományos módszerekkel, mert ké-

miai tulajdonságaik megegyeznek. Ehelyett az uránt fluorral vegyítve addig hevítik, míg gáznemű nem lesz, majd több lépcsőben lepárolják. A folyamat során szétválik egy dúsított, többnyire U-235-öt tartalmazó és egy szegényített, nagyrészt U-238-at tartalmazó részre.

A fegyverkezési háború

A II. világháború befejezését követően az Egyesült Államok és a Szovjetunió egymással versengve atomfegyvereket kezdett gyártani. Az oroszok már 1949-ben - jóval korábban, mint azt az amerikaiak várták

**1982-re az Egyesült Államok
11 ezer, a Szovjetunió pedig
8000 nukleáris töltettel rendel-
kezett, amelyeket interkonti-
nentális ballisztikus rakétákra
szerelve akár tengeralattjárókról
is képesek lettek volna fellőni
abban az esetben, ha egy kez-
deti támadásban a parancsnoki
központok megsemmisültek
volna.**

ra állítása és az emberi űrkutatás fejlesztése volt, valójában mégsem volt egyéb, mint demonstrálni: a világban bárhová képesek eljuttatni az atomfegyvereiket.

1982-re az Egyesült Államok 11 ezer, a Szovjetunió pedig 8000 nukleáris töltettel rendelkezett, amelyeket interkontinentális ballisztikus rakétákra szerelve akár tengeralattjárókról is képesek lettek volna felőlni abban az esetben, ha egy kezdeti támadásban a parancsnoki központok megsemmisültek volna. Mindkét ország kiterjedt, bármilyen

volna - elvégezték első atomrob-bantásukat. Az 1950-es években megjelentek az első interkontinentális ballisztikus rakéták, amelyek a bombázórepülőknél is több ezer km-rel távolabbra eltudták juttatni a nukleáris tölteket.

Az 1960-as évekre mindenkor szuperhatalom előállt a saját építésű űrrakétáival. Céljuk látszólag a műholdak Föld körüli pályá-



A romokban heverő Nagaszaki 1945 augusztusában, miután atombombát dobtak a városra.

gyanús mozgást azonnal észlelő radarrendszerrel rendelkezett. És minden két fél évtizedek óta tisztában volt vele: amennyiben bármelyikük elindítja ezt a pusztító háborút, a másiknak még épp elég ideje marad, hogy hasonló erejű ellentámadást indítson.

Nukleáris téli

Hirosima és Nagaszaki példája megmutatta, hogy egy nukleáris támadás a robbanás helyszínének több ezer km-es környezetében is elpusztít mindenkit és mindenkit. Ráadásul az ezt követően kialakuló

ún. nukleáris tél még jóval később és még kiterjedtebb területen is érezeti a hatását. Az 1980-as évek végén tudósok rámutattak, hogy az Egyesült Államok és a Szovjetunió között esetlegesen kitörő atomháború nyomán olyan mennyiségű és összetételű füst és korom kerülne a bolygó légkörének magasabb rétegeibe, hogy az egész égboltot beborító felhőréteg elnyelné a Nap sugarainak nagy részét, a Föld felszíne lehűlne, sötétség és szárazság uralkodna mindenütt. Mindezek következtében kipusztulna a növényzet és az élelmiszerkészletek is hamar elfogynának. Nyáron az átlaghőmérséklet annyi lenne, mint egy átlagos télen.

A modern klímakísérletek és szuperszámítógépes programok lehetővé tették a nukleáris tél még részletesebb modelljeinek kidolgozását, s ezek nemcsak megerősítették, de újabb adatokkal bővítették az első vázlatos elképzéléseket. A közvetlen hatások legalább egy évtizedig tartanának, jóval tovább, mint azt korábban feltételezték, és még egy

A Föld felszíne lehűlne, sötétség és szárazság uralkodna mindenütt. Mindezek következtében kipusztulna a növényzet és az élelmiszerkészletek is hamar elfogynának.

aránylag kisebb méretű atomháború során keletkezett forró füstfelhő is évekig ott maradna a légkör felsőbb rétegeiben.

2006-ban az Amerikai Geofizikai Szövetség (American Geophysical Union, AGU) San Franciscói találkozóján Richárd Turco, a Kaliforniai Egyetem (UCLA) munkatársa előadásában azt állította, hogy

50-100 bomba felrobbantása - ez alig 0,03%-a a világon jelenleg rendelkezésre álló atomfegyvereknek - már elegendő lenne ahhoz, hogy az atmoszférába kerülő korom az emberi történelem során még soha nem látott éghajlati rendellenességeket idézzen elő. Több tízmillió ember halna meg, világszerte drámai mértékben csökkenne a hőmérséklet, a bolygó nagy része pedig legalább öt évre alkalmatlanná válna a növénytermesztésre. Ráadásul a Föld felszínét a káros ultraibolya sugaraktól

védő ózonréteg sok emberlakta terület felett 40%-kal, a pólusok felett pedig akár 70%-kal csökkenne.

Turco két ország nukleáris konfliktusát modellezte, amely során 100 darab, egyenként 15 kT-ás, hirosimai méretű atombomba robbanna fel. Állítása szerint a nukleáris haderővel bíró országok közül sokan rendelkeznek ezzel a mennyiséggel. A modell alapján egy atomháborút követően a legsűrűbben lakott területek járnának a legrosszabbul. Az utóbbi időben Indiában és Pakisztánban is megfigyelhető, hogy a lakosság jelentős része a sűrűn lakott városokba költözik, így ezekben az országokban 12 millió, illetve 9 millió halálos áldozatot követelne egy ilyen konfliktus, az Egyesült Királyságot érő hasonló támadás pedig 3 millió ember halálát okozná közvetlenül a támadás után.

A 100 nukleáris töltettel számoló forgatókönyv szerint több mint 5 millió tonna fekete körömfelhő keletkezne a robbanásokat követő tűzben, ami a légkör felső rétegeibe emelkedne, és a Nap sugaraitól felhevítve beterítené az egész bolygót. A felhőt alkotó részecskék a napfényt elnyelve megakadályoznák, hogy az felmelegítse a felszínt, aminek következtében a Föld átlaghőmérséklete hirtelen $1,25^{\circ}\text{C}$ -kal lecsökkenne. „Ez az emberek történelmében a legnagyobbként számított, ún. kis jégkorszakként ismert klímaváltozásnál is hidegebbet jelentene” - állítja Alan Robock, Turco kollégája, a Rutgers Egyetem klimatológusa.

Hasonló módon, világszerte kb. 10%-kal csökkenne a csapadék mennyisége, ugyanis ha nem éri a felszínt elegendő napfény, lelassul a párolgás és így a víz körforgása is. Ázsiában a monszun éghajlat alatt akár 40%-kal is csökkenhetne a lehullott csapadék mennyisége.

100 NUKLEÁRIS TÖLTETTEL SZÁMOLÓ FORGATÓKÖNYV

India: 12 millió halott

Pakisztán: 9 millió halott

Egyesült Királyság: 3 millió halott
5 millió tonna korom a légkörben
 $1,25^{\circ}\text{C}$ globális hőmérséklet-
csökkenés

Ez a modell azt is megmutatta, hogy a füstfelhők jóval hosszabb ideig lebegnek a légkör felső rétegeiben, mint azt korábban gondolták. A régebbi, a vulkáni hamufelhők tulajdonságaival számoló modellek még azt eredményezték, hogy nagyjából egy évig maradnának, a pontosabb légköri adatok felhasználásával készült tanulmány azonban kimutatta, hogy az éghajlatra egy évtizeddel az eredeti konfliktust követően is kihatnának egy nukleáris összecsapás következményei.

Megtörténhet?

A hidegháború alatt mindenki szuperhatalom megszüntetett igyekezett bebizonyítani, hogy erősebb a másik félnél, de egyikük sem kívánta kirobbantani a világ végét jelentő háborút. Az Egyesült Államok és a Szovjetunió politikai vezetői a legvégső esetre fenntartottak egy elkülönlített telefonvonalat, és folyamatos diplomáciai kapcsolatban álltak. Amíg csak két oldal volt, mindenki könnyebben szemmel tarthatta a másikat.

Az atomhatalmakat illetően manapság jóval összetettebb a kép. Kileggyorság - Oroszország, az Egyesült Államok, Franciaország, Kína, az Egyesült Királyság, Izrael, Pakisztán, India és Észak-Korea - összesen 25 ezer nukleáris rakétatöltettel rendelkezik, és jóval nagyobb azoknak az országoknak a száma, amelyek közel állnak ahhoz, hogy kifejlessék saját atomfegyvereiket.

Világszerte miniszterelnökök és elnökök vallják, hogy egy olyan álombéli világ létrehozására törekednek, amelyben a nukleáris fegyverek száma folyamatosan csökkenthető - talán nullára.

2009 júliusában Barack Obama, az Egyesült Államok és Dimitrij Medvegyev, Oroszország elnöke megegyeztek, hogy 2016-ra a telepített nukleáris fegyvereik számát 1500-ra és 1675-re csökkentik. Robock kiszámolta, mi történne, ha ez a hatalmas arzenál mégis felrobbanna

az Egyesült Államok vagy Oroszország nagyobb városaiban. Emberek százmilliói halnának meg, és hatalmas, 180 millió tonnás koromfelő borítaná be az eget. A jelentősebb mezőgazdasági régiókban évekig fagypont alatt maradna az átlaghőmérséklet.

Nem sok esély van lebeszélni egy országot a nukleáris fegyverek gyártásáról, ha már egyszer eltökélte magát. Annak még kisebb a valószínűsége, hogy ezek az országok engednék, hogy a maguk is több ezer atomfegyverrel rendelkező nagyhatalmak mondják meg nekik, mit tegyenek.

Tévedés azt gondolni, hogy a nukleáris tél fenyegető veszélye a hiddegháború végével megszűnt - írja a *Scientific Americanben* 2010-ben megjelent közös cikkében Robock és Owen Brian Toon, a boulderi Colorado Egyetem légköri és tengertudományi tanszékének vezetője. „Válogában a 2012-re megmaradó arzenál, ami az amerikaiak és az oroszok rendelkezésére áll, bármikor képes egy nukleáris tél beálltát előidézni. Ráadásul az atomfegyverrel rendelkező országok egyre népesebb táborra csak növeli egy atomháború szándékos vagy véletlen kirobbantásának esélyeit.”

Majd így folytatták: „A nemrég Indiát ért terroristámadásokat követően néhány szélsőséges indiai vezető nukleáris fegyverek bevetését javasolta Pakisztán ellen. India akár hagyományos haderőkkal is képes lenne legyőzni ellenfelét, ezért elképzelhető, hogy amennyiben Pakisztán úgy ítélné meg a helyzetet, hogy India támadást indított ellene, bevetné az atomfegyvereit. Irán azzal fenyegetőzik, hogy elpusztítja az atomfegyverekkel rendelkező Izraelt, amire válaszként Izrael felesküdött, hogy megakadályozza Irán nukleáris hatalommá válását. Ezek az országok mind meg vannak győződve arról, hogy bármikor figyelmeztetés nélkül megtámadhatják őket, a hasonlóan feszült konfliktusok pedig ott hordozzák magukban a lehetőséget, hogy bármikor hirtelen kirobbanjanak.”

A belvárosban robbanás történik. Tucatnyi ember meg hal, és a detonáció közelében rengeteg épület megsérül. A rendőrség kordonnal lezárja a területet, és 8 km-en belül mindenkit evakuálnak. mindenhol eluralkodik a fejet

Terrorizmus

Bekapcsolod a híreket, ahol egy komor képű bemondó a városi hatóságok üzenetét közvetíti: „Senki ne hagyja el az épületet, ahol éppen tartózkodik, bármilyen messze is van a robbanás helyszínétől!” Egy órával később a párod azzal ér haza a munkából, hogy azt hallotta: valami nukleáris robbanásfélre történt.

Aznap este a rendőrség megerősíti, hogy a várost terroristatámadás érte, és hogy egy ún. *piszkes bomba* robbant fel. A hagyományos robbánóanyag radioaktív cézium apró részecskéit juttatta a levegőbe. Ezt a mérgező füstfelhőt az elmúlt néhány óra alatt az erős légáramlat szétterítette a város felett.

A rendőrségi szóvivő szerint a robbanás helyszínének pár kilométeres körzetében nagy valószínűséggel cézium borít minden háztetőt, utat, járdát és autót. A lékgondicionáló berendezések valószínűleg az épületek belsejébe is beszippantották a rákkeltő anyagot. A szóvivő is megismétli a hatóságok figyelmeztetését, ezúttal még sürgetőbben: „Mindenki maradjon épületen belül, és ne menjen ki az utcára a további hírekig!”

A robbanást követő napokban mégis el kell hagynod az otthonod, amíg a takarítóosztagok elkezdik biztonságossá és emberi tartózkodásra alkalmassá tenni a várost. Mennyi esély van rá, hogy te és a szomszédaid hamarosan vagy egyáltalán visszatérhettek az otthonaitokba? A bomba talán nem pusztította el a teljes helyi infrastruktúrát, de a várost valószínűleg örökre tönkretette.

A támadás három fajtája

A terroristák minden rendelkezésükre álló eszközzel - késsel, lőfegyverrel vagy bombával - képesek megtámadni a törvénytisztelő civil lakosságot, hogy felhívják magukra és ügyükre a figyelmet. Az a céljuk, hogy félelmet keltsenek és tartsanak fenn, amilyen hosszú ideig csak

lehetséges. Ahhoz, hogy elérjék, amit akarnak, el kell hitetniük az emberekkel, hogy bármelyik pillanatban megtámadhatják őket. Mindezt ráadásul mindeneknek az eszközöknek és pénzforrásoknak a hiányában, amelyek a katonai konfliktusok kezelésében a kormányok rendelkezésére állnak.

Ilyen körülmények között egy piszkos bomba bevetése aránytalanul nagy áldozatot követel. Egy ilyen fegyver veszélyes utóhatásai jóval a robbanás után is érezhetők: hetekkel, hónapokkal, akár évekkel később is félelmet és bizonytalanságot ébreszt.

A terroristák által használt fegyverek általában három fő kategóriába sorolhatók: radiológiai, biológiai és vegyi fegyverek.

A *radiológiai piszkos bombát* általában hagyományos robbanóanyagból készítik, például TNT-ből vagy műtrágya és gázolaj keverékéből, amihez aztán erősen radioaktív anyagot kevernek. A robbanás során felszabaduló hő porlasztó hatással van a mérgező tartalomra, ami így nagy területen képes szétszóródni. „A fegyverszakértők szerint a radiológiai bombák piszkos, de hatékony eszközök, hatalmas pszichológiai kárt tudnak okozni, kihasználva az emberek láthatatlan sugárzástól való félelmét - írta 2002-ben Michael A. Levi és Henry C. Kelly, a washingtoni Amerikai Tudósok Szövetsége (Federation of American Scientists, FAS) két fizikusa a bioterrorizmus fenyegetéseiről szóló elemzésében a *Scientific Americanban*. - Ezek nem tömegpusztító, hanem tömegbomlasztó fegyverek: a célpontul szolgáló területeket hosszú időre tiltott zónává téve hatalmas gazdasági kárt okoznak.”

A radioaktív plutónium- vagy ameríciumpártikék az ember tüdejében lerakódva évekig képesek káros alfa-sugárzást (hélium atommagokat) kibocsátani.

„A radiológiai fegyverekből származó por hosszú időre megül az épületek, járdák, utak apró repedéseiben és a házak belsejébe is bekerülhet - állítja Levi és Kelly. - A radiológiai támadások során felhasznált anyagok közül néhány, mint például a cézium-137 kémiai kötést képes

kialakítani az üveggel, a betonnal és az aszfalittal. Az 1986-os csernobili katasztrófát követően, amikor a Szovjetunióban felrobbant az atomerőmű, sok szélirányba eső skandináv városban még több mint 15 évvel később is kimutatható volt a járdához tapadt cézium.

Manapság nem nehéz radioaktív anyaghoz hozzájutni. A kórházakban a rákos elváltozások sugárkezelése során rádiumot és céziumot használnak. Ráadásul a Szovjetunió hidegháborút követő felbomlása után a feketepiacon jelentős mennyiségű használt nukleáris fűtőanyag és fegyverekhez is felhasználható mennyiségű plutónium jelent meg.

A *biológiai piszkos fegyver* célja a lakosság megfertőzése veszélyes vírusokkal vagy baktériumokkal. Egy robbanás valószínűleg a bevetni kiVánt kórokot is megsemmisítené, ezért robbanószer alkalmazása nem valószínű. Ehelyett egy metrókocsiba permetezett láthatatlan gáz-felhő vagy az élelmiszer megfertőzése sokkal valószínűbb. Ez a technológia nem új felfedezés: 1923-ban a francia haditengerészet vegyi kutatólaboratóriumával kapcsolatba hozható tudósok kórokókkal teli bombákat robbantottak fel a Párizs közeli Sevran-Livry földjein élő állatokra, aminek hatására jó részük elpusztult.

A biológiai terroristák számára a legnagyobb kihívás az, hogy egy kórokóból hogyan lehet a leghatékonyabban fegyvert készíteni, azaz hogyan tehetik könnyen terjeszthetővé. Az anthrax, azaz lépfenespóra azért alkalmas erre a célra, mert megszárítva megfelelő finomságú porról lehet őrölni, ami aztán elég hosszú ideig képes megmaradni az ember tüdejében, hogy kifejtse mérgező hatását.

Egy piszkos bomba bevetése aránytalanul nagy áldozatot követ. Egy ilyen fegyver veszélyes utóhatásai jóval a robbanás után is érezhetők: hetekkel, hónapokkal, akár évekkel később is félelmet és bizonytalanságot ébreszt.

A vegyi terrorizmus során gyorsan ható mérgező anyag kerül a levegőbe. 1995-ben az Aum Shinrikyo japán szekta szarint, azaz ideggázt juttatott a tokiói metró néhány kocsijába - az akció 12 halálos áldozatot követelt és további 5000 embert juttattott kórházba.

II 1995-ÖS SZARINMERGEZES I

A METRÓBAN

Hasonlóan hatékony idegméreg a ricin, a ricinus magjából kivonható rendkívül mérgező anyag, amelyből egészen parányi - sókristály méretű - mennyiségek is elegendő egy felnőtt ember megöléséhez. A fertőzés hatására láz, émelygés és mellkasi fájdalom jelentkezik, majd az áldozat néhány nap múlva több létfontosságú szervének leállása miatt meghal.

Egészségügyi tisztviselők vegyvédelmi ruhában a tokiói metróban az Aum Shinrikyo szekta által vérehajtott szarintámadást követően.



Egy ilyen támadás súlyossága attól függ, hogy az elkövetők mennyire felkészültek - csak egy képzett vegyész képes nagy mennyiségben mérgező ideggázt előállítani, márpedig belőlük világszerte elég sokat találhatunk. Úgy tűnik, az Aum Shinrikyo szekta tokiói támadásakor a terroristák elsigették az akciót - az általuk használt szarin nem volt elég tiszta, és az anyag szétterítéséhez egy esernyő hegyével kiszúrt zacskót használtak. Alaposabb szervezéssel valószínűleg több ezren is meghaltattak volna a támadásban.

Milyen nehéz piszkos bombát előállítani?

Ez attól függ, hogy a terroristák milyen anyagot akarnak bevetni. Sok természetesen előforduló fertőzés is alkalmazható biológiai fegyverként, ilyen például a pestis, a botulizmus (kolbászmérgezés) és a tularémia (nyúlpestis).

Az emberek általában a *Bacillus anthracis* által okozott lépfene-fertőzés miatt aggódnak a leginkább, ami elsősorban a szarvasmarhákra és birkára veszélyes, de az embereket is megfertőzheti. A lépfene egyik, kevésbé veszélyes változata következetében fekete közepű fekely jelenik meg a bőr felszínén, de a súlyosabb, légzőszervi lépfenével megfertőzött betegek 90%-a meg is halhat, ha nem kezelik időben. Ezt akkor kaphatja el valaki, ha alig kevesebb mint 10 ezer, egyenként 1-5 mikrométer nagyságú lépfenespórát lélegez be. A tüdő felületén át a szervezetbe jutva a spórák a nyirokcsomókba kerülnek, ahol mérgező anyagot bocsátanak ki. A tünetek között szerepel a hányás és a láz, és antibiotikum hiányában a kezeletlen betegek a vérzés, légzéskihagyás és a toxikus sokk következtében pár napon belül meghalnak.

Több millió ember megfertőzéséhez elegendő lenne egy alacsonyan szálló repülőgépből pár száz kg-ot kidobni a megfelelő város felett.

Ha a terroristák hozzájutnának a lépfenespórákhoz és megfelelő méretűre őrölnek, több millió ember megfertőzéséhez elegendő lenne egy alacsonyan szálló repülőgépből pár száz kg-ot kidobni a megfelelő város felett.

Ennél is egyszerűbbnek tűnik az élelmiszer-gyártási folyamat egy pontján mérgező anyagot juttatni például valamelyik élelmiszer-alapanyagba. Lawrence Wein és Yifan Liu, a kaliforniai Stanford Egyetem kutatói kiszámították annak a hatását, ha valaki botulinmérget juttatna egyetlen tejszállító tartálykocsiba. „A géntechnológiát leszámítva, a bioterrorista támadások közül az emberek számára legveszélyesebb három eshetőség a himlőtámadás, a lépfene-légitámadás, illetve az üdítőitalokba juttatott botulinmérget lenne” - írták 2005-ben a *Proceedings of the National Academy of Sciences* ben.

A botulin az idegrendszerre ható erős méreg (a botoxként is ismert szert kis mennyiségben a plasztikai sebészeti használják a ráncok kisimítására). A tudósok arra az eredményre jutottak, hogy a fertőzött tej pasztörizálása ellenére a terroristák néhány nap leforgása alatt kb. 568 ezer embert fertőznének meg halálos adag méreggel.

Megtörténet?

A politikailag független amerikai agytröszt, a Külükapcsolatok Tanácsa (Council on Foreign Relations, CFR) szerint a Bush-kormány 2002-ben meg volt győződve róla, hogy az al-Káida birtokában bomba készítésére alkalmas radioaktív anyagok, például stroncium-90 és cézium-137 van. „2003 januárjában a brit hatóságok által az afganisztáni Herat városában lefoglalt dokumentumok szerint az al-Káidának sikerült egy ki-sebb méretű piszkos bombát előállítania. A *The Washington Post* szerint 2003 decemberében a belbiztonsági hatóságok legnagyobb aggodalma az volt, hogy az al-Káida a szilveszteri mulatságokra vagy a főiskolai

futballbajnokságra fogja-e időzíteni a piszkos bomba felrobbantását" - írta a CFR a honlapján.

Hozzátették, hogy Irak már 1987-ben végzett tesztrobbantást egy 1 tonnás radiológiai bombával, de később a generált sugárzási szint elégtelensége miatt felhagyott a további kísérletekkel. „1995-ben cseccsen lázadók egy dinamitból és cézium-137-ből készült piszkos bombát helyeztek el a moszkvai Izmajlovszkij parkban, amit végül nem sikerült felrobbantaniuk. 2002-ben az Egyesült Államok letartóztatott egy állítólagos al-Káida-tagot, Jose Padillát, aki ellen a vág egy amerikai város felrobbantásának terve volt piszkos bombával. 2003-ban a brit hírszerzés ügynökei és fegyverszakértői részletes tervrajzokat és dokumentációt találtak Afganisztánban, amelyekből arra lehetett következtetni, hogy az al-Káidának sikerült egy piszkos bombát megépítenie. A terrorszervezet amerikai fogásában tartott tagjai megerősítették, hogy ez a piszkos bomba létezik, mégsem sikerült azóta sem a nyomára bukkanni.”

Levi és Kelly ugyancsak idézi a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséget (International Atomic Energy Agency, IAEA), amely 2001-ben azt állította, hogy a világon szinte minden ország rendelkezik piszkos bomba építésére alkalmas radioaktív anyagokkal, s hogy száznál is több országban a biztonsági intézkedések alapvető hiányosságai miatt minden gond nélkül el lehetne lopni ezeket az anyagokat.

Vajon előfordulhat-e, hogy egy ilyen piszkos bomba valahol felrobbanjon és sugárzó, vegyi vagy biológiai mérgező anyagokat szórjon szét? A válasz: igen. Nem kell hozzá más, mint egy türelmes és jól képzett tudós, aki megépíti a szerkezetet és aktív hatóanyagokkal szereli fel. Vajon egy ilyen esemény képes lenne elhozni akár a civilizáció végét is? Ez már kevésbé valószínű. Egy piszkos bomba felrobbantása aránytalanul súlyos pszichológiai és gazdasági károkkal járna, egész városok néptelenednének el. Azonban világszerte egyszerre több százat kellene felrobbantani ahhoz, hogy végzetes hatása legyen. Képesek-e a piszkos bombák véget vetni a világnak? Nem valószínű.

Aldous Huxley *Szép új világ (Brave New World)*² című művében az emberek speciális szerepekbe születnek bele, és egész életükben előre meghatározott feladatokat látanak el a Világállam szolgálatában. Ebben az utópisztikus struktúrában egyszerűen nem létezik a társadalmi mobilitás, a szabadság ilyen mértékű korlátozása mégsem vezet forradalomhoz a kormány által alkalmazott kábítószer, a szórna miatt.

A halál oka: eufória

uxley regényében a Világállamban nincsenek háborúk, sem megosztott érdekcsoportok, mindenkinet egyértelmű, hogy a társadalom érdekei megelőzik az egyénét. Ha ebben a minden szempontból irányítás alatt tartott világban mégis valami kellemetlen dolog történne, még mindig ott van a szórna, hogy elfelekezhessünk a tényekről, és a dolgok visszatérjenek a megszokott kerékvágásba. Mustapha Mond, Nyugat-Európa Világellenőre szerint a szórna célja, hogy „haragunkat mérsékelje, kibékít-
sen ellenségeinkkel, hogy türelmesek és sokáig minden elviselők lehessünk. A múltban ezeket a dolgokat csak nagy erőfeszítéssel lehetett elérni, s csupán többéves, kemény erkölcsi edzéssel. Most pedig bárki lenyel két-három félgrammos tabletta, és kész. Bárki erényes lehet ma. Mindenki magával hordhatja egy üvegcésben jó erkölcsinek legalább a felét. Kereszténység könnyek nélkül - ez a szórna." (Aldous Huxley: *Szép új világ*)

A valóságban a szómatabletta nem létezik, ez azonban csak idő kérdése. Egyre nagyobb mértékben állnak rendelkezésünkre a betegeken segítő gyógyszerek, és nem kell sokat várni azoknak a szereknek a megjelenésére sem, amelyekkel az egészségesek mentális képességeiket és éberségüket fejleszthetik, egy fárasztó nap után megszabadulhatnak a stressztől, és eufóriában tölthatik a hétvégét, mindezért ráadásul mellékhatások nélkül. Vajon mikor jön el az idő, amikor már önként annyi gyógyszert használunk, hogy teljesen elveszítjük az irányítást önmagunk felett? Elképzelhető, hogy az emberi civilizáció nem egy óriási robbanásban fog eltűnni a Föld színéről, hanem az önmagunknak adaptált kábult ködben enyészik el.

Vajon mikor jön el az idő, amikor már önként annyi gyógyszert használunk, hogy teljesen elveszítjük az irányítást önmagunk felett?

Gyógyszerek ma és holnap

Az emberiség már ōsidők óta alkalmaz pszichoaktív drogokat. A Peru északnyugati területein talált régészeti leletek bizonyítják, hogy az ott élők már több mint 10 ezer évvel ezelőtt is fogyasztották a kokacserje leveleit; a bennük található alkaloid fokozza a teljesítőképességet és csillapítja az alacsony oxigéntartalmú magaslati levegő kellemetlen hatásait.

A XX. század utolsó évtizedeiben jelentős mértékben bővültek az ismereteink az emberi test működéséről, és ennek következtében rengeteg olyan drogot (orvosi, illetve tiltott szert) kísérleteztek ki, amelyek képesek javítani a közérzetünket, segítik a koncentrációt vagy egyszerűen csak napokon át ébren tartanak.

Szinte mindenkorban élünk ilyen serkentőszerekkel - ismerőseink közül hányan kezdtik nehezen a napot a koffein vagy a nikotin élénkítő hatása nélkül?

Még az egészséges emberekkel is előfordul, hogy rendszeresen szednek receptre kiadható gyógyszereket. A figyelemhiányos hiperaktivitási zavartól (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD) szenvedő gyerekeknek metil-fenidátot (Ritalint) kell szedniük, de az egészséges emberek is ezt használják szellemi teljesítményük fokozására. A modafinil gyógyszerről, amit eredetileg narkolepszia kezelésére alkalmaztak, kimutatták, hogy csökkenti a stresszt, segíti a koncentrációt és jó hatással van a rövid távú memóriára. Többek között az amerikai hadseregekben is igénybe veszik, mivel a bevételeknél ébren tartja a katonaikat, egyes tudósok szerint pedig hasznos lehet a több műszakban dolgozók számára, hogy az állandóan változó munkaidő nehézségeivel megbirkózzanak. A propranolol[^] amely ūn. béta-receptor-blokkoló, használják magas vérnyomás, angina pektorisz (szívtáji szorító fájdalom), illetve szívritmuszavarok kezelésére is - de a biliárdjátékosok is szedik, hogy a versenyek előtti idegesességekön úrrá legyenek.

Az amerikai egyetemek diákjainak majdnem 7%-a használt már receptköteles serkentőszereket nem orvosi célra, egyes egyetemeken pedig a diákok egyenegyedére igaz ez. „Ezek a fiatalok már egészen korán magukévé tesznek egy olyan életformát, ami valószínűleg egyre elterjedtebb lesz, és a jelek szerint nem ők az egyedüliek” - állítja Henry Greely, a Stanford Egyetem jogi karának professzora.

Greely 2008-ban a *Nature* magazinban jelentetett meg egy cikket, amelyet etikai, idegtudományi, pszichológiai és orvostani szakértőkkel közösen írt. Ebben azt állítja, hogy mind az ADHD esetében alkalmazott metil-fenidát, mind az Alzheimer-kór kezelésére használt donepezil esetében mérsékelt emlékezetjavulást tapasztaltak a kutatók. „Túl korai még megmondani, hogy ezek az új gyógyszerek mennyire biztonságosak és hatékonyak, ha azonban ez bármelyikük ról bebizonysodik, az bizonyára igen keresett lesz az egyébként egészséges középkorú és idősebb korosztály körében, akik normális, korukhoz illő mértékű emlékezetromlást tapasztalnak, illetve a vizsgákra készülő fiatalok körében is.”

Az Egyesült Királyság kormányának Foresight elnevezésű tudományos programja keretében 2005-ben készült egy tanulmány, ami a tudatserkentő szerek jövőjével foglalkozott. Az elkészült jelentésben a pszichológia és idegtudományok vezető tudósai amellett érveltek, hogy hamarosan minden betegségre lesz egy megfelelő pirula, ráadásul különösebb mellékhatások nélkül. Egyre gyorsuló és versengő világunkban az ilyen szerek használata a minden napí életben akár általánosan elfogadottá is válhat.

A Foresight-jelentés egyik szerzője, a Cambridge-i Egyetem kísérleti pszichológusa, Trevor Robbins olyan jövőt vázolt fel, ahol a nikotin, az alkohol és a kokain ellen védőoltást lehet majd beadni. Ennek hatására az immunrendszer a függőséget okozó szer elleni antitesteket termelne, amelyek meggátolnák, hogy az elfogyasztott drog kifejtse hatását az agyban.

Más gyógyszerek képesek lesznek kitörölni a fájdalmas emlékeket, ami sokat segíthet a poszttraumás stressztől (Post-Traumatic Stress Disorder, PTSD) szennedő embereken. „Jelenleg 20-25 évre tudunk előre tekinteni - írja Robbins a jelentés bevezetőjében. - Az alaptudományos kutatások azt mutatják, hogy lehetséges egyetlen emléket felidézni és kitörölni, ezáltal szelektív memóriát létrehozni.”

Mindez ráadásul egy gyógyszer segítségével, anélkül hogy az emlék fájdalmát át kellene elni. A mai orvosságok káros mellékhatásai a jövőben egyszerűen kiküszöbölni lesznek.

Váratlan következmények

Nehéz nem elragadtatni magunkat, ha a gyógyszergyártásban rejlő lehetőségekre gondolunk: a pirulákkal megoldódna minden problémánk, jobbá válna az életünk, megszabadulhatnánk a fájdalmas emlékektől vagy egyszerűen csak még boldogabbá tehetnénk minden napit életünket.

Az elkerülhetetlen nehézség abból adódik, hogy nagyon keveset tudunk még arról, hogy az egyes szerek pontosan mit is művelnek a testünkkel és az agyunkkal. A modafinil például, úgy tűnik, az agy számos kémiai hírvivő molekuláját képes módosítani, de senki nem tudja még biztosan, hogy mi is a működési mechanizmusa. Az ehhez hasonló élénkítőszerek széles körű felhasználása esetén azonban felmerül a kérdés, hogy vajon hosszú távon milyen káros hatással lehetnek az agy működésére.

Több, állatokon végzett kísérlet is arra mutatott rá, hogy a stimulánsok megváltoztatják az agy szerkezetét és működését, ami hosszú távon lehangoltságot, nyugtalanságot, szorongást, és rövid távú hatásikkal ellentétben a kognitív funkciók gyengülését eredményezheti. Az amerikai Élelmiszer- és Gyógyszerszabályozó Egészségügyi Szerve-

zet (Food and Drug Administration, FDA) kutatói 2006-ban összevetették minden tanulmányok adatait, amelyek a depresszióra, szorongásra és hiperaktivitásra antidepresszánsokat szedő gyerekek és tizenévesek adatait vizsgálták: eredményük szerint ezeknél a fiataloknál, a placeboszereket szedő kontrollcsoporttal összehasonlítva, kétszer gyakrabban (2% helyett 4%-ban) fordult elő az öngyilkosság gondolata, illetve annak kísérlete.

Nem csak a gondosan kikísérletezett gyógyszerek esetében fordulhatnak elő kellemetlen mellékhatások. Robin Murray, a dél-londoni Maudsley Kórház pszichiátriai osztályának professzora és Anglia egyik vezető mentálhigiénés szakértőjének kutatása szerint a kannabisz fogyasztása szinte minden súlyosbítja a pszichózis tüneteit azoknál, akik eleve mentálhigiénés problémákkal küzdenek (illetve a családjukban korábban előfordult ilyesmi). Kollégája, Louise Arsenault *British Medical Journalban* megjelent tanulmánya is azt mutatta ki, hogy a 18 évesen kannabiszt fogyasztók esetében kb. 60%-kal nagyobb a valószínűsége a pszichózis kialakulásának későbbi életükben. „Aki azonban már 15 évesen kezd el kannabiszt használni, annál ennek a kockázata jóval nagyobb, kb. 450%” - állítja Murray.

Megtörténhet?

Ahhoz, hogy az ehhez hasonló szerek átvegyék az irányítást az egész emberi társadalom felett, mindenkinek önként, rendszeresen és nagy mennyiségen kellene szednünk ezeket. Ez az elképzelés korántsem olyan lehetetlen, mint gondolnánk.

Példának okáért az orvostudomány fejlődésének köszönhetően egyre tovább élünk. Senki nem tudja azonban, milyen hatással lenne az agyunkra, ha 150-200 évig élnénk. Talán egyszerűen csak huzamosabb ideig éreznénk magunkat magányosnak vagy lennének depressziósak,

ahogy a WHO és mások jelentéseiből is kiderül: az előregegdő társadalmaiban jóval gyakoribb a lelki zavarok előfordulása. Ha 200 évig vagy még tovább elnénk, talán az alig pár évtizednyi földi létezésre ki-fejlődött főemlős agyunkat az ennyi idő alatt összegyűlő emlékek és érzések túlterhelnék. Erre az egyik reakció az lehet, hogy még több olyan gyógyszert fejlesztünk ki, amelyek ellensúlyozzák vagy lelassítják az időskori depresszió és leépülés tüneteinek kialakulását - az emberek pedig mentális egészségük megőrzése érdekében természetesen bevennék ezeket.

A kevésbé végletes forgatókönyv szerint fontos szerephez jutna a csoportnyomás. Talán nem vagyunk hajlandók agyserkentőket használni, hogy keményebben és tovább tudunk dolgozni, de egy olyan világban, ahol az összes kollégánk (és versenytársunk) ilyen eszközöket vesz igénybe, vajon megengedhetjük-e magunknak, hogy emiatt lemaradjunk a versenyben? Ha életünk közepén járó, 70 éves irodai

Talán nem vagyunk hajlandók agyserkentőket használni, hogy keményebben és tovább tudunk dolgozni, de egy olyan világban, ahol az összes kollégánk (és versenytársunk) ilyen eszközöket vesz igénybe, vajon megengedhetjük-e magunknak, hogy emiatt lemaradjunk a versenyben?

latilag természetellenes: otthonunknak, ruháinknak, ételeinknek - az orvosi ellátásról nem is beszélve - nem sok közük van fajunk természetes állapotához. Tekintve az általunk jelenleg is használt rengeteg meg-

dolgozóként egy fejlődő országbeli, jól képzett 23 éves fiatallal kellene megküzdenünk egy állásért, talán nem vennék be minden lehetséges szert, hogy előnyhöz jussunk?

Elképzelhető, hogy szeretnénk az életünket minél természetesebben és adalékmentesebben leélni, Greely szerint azonban ehhez már túl késő. „Manapság majdnem minden ember élete gyakor-

ismerést segítő eszközt az írástól a hordozható számítógépekig, miért húznánk meg a határt ezeknél, mondván: eddig és ne tovább?"

Az emberi leleményesség olyan eszközöket adott a kezünkbe agyunk továbbfejlesztéséhez, mint például az írott nyelv, a nyomtatás és az internet. Az agyserkentő szereket ugyanabba az általános kategóriába kellene besorolnunk, mint az oktatást, az egészséges életmódot és az információs technológiát: ezek mind egyszerűen csak különböző módjai annak, ahogy a mi egyedülállónak újító fajunk igyekszik továbbfejleszteni önmagát.

„A biztonságos és hatékony agyserkentők javára válhatnak az egyénnek és a társadalomnak is - vonja le a következtetést Greely. - Nem szabad azonban megfeledkeznünk azokról a problémákról, amelyek az ilyen jellegű szerek használatával együtt járhatnak, illetve szedésükkel súlyosabbá válhatnak. Akárcsak más technológiák esetében, ezen a területen is nagy figyelmet kell szentelnünk annak, hogy úgy maximalizáljuk az ezekkel járó előnyöket, hogy közben minimálisra csökkentjük káros hatásaikat.”

Talán nem szórna lesz a neve, még csak nem is egyetlen pirula lesz az, de a jövőnk többek között az ilyen serkentőszerekről fog szólni.

A XVIII. század végén Thomas Malthus fiatal lelkésznek feltűnt, hogy a délkelet-angliai kis faluban, Surre-ben, ahol élt, jóval több keresztelőt kellett tartania, mint temetést. Ez a megfigyelés arra készítette, hogy kemény szavú figyelmeztetést intézzen a meg nem fékezett emberi szaporodás veszélyei ellen.

Malthus meg volt győződve arról, hogy az emberek nem foglalják le magukat mással, mint párzással és gyermeknemzéssel. 1798-ban megjelentetett *Tanulmány a népesedés törvényéről* (*Essay on the Principle of Population*)³ című írásában leírja, hogy a legszegényebbek olyan mértékben szaporodnak, hogy a számukat hamarosan betegségek és éhínségek fogják megtizedelni, mivel a földterület, amelyen élnek, már nem lesz képes eltartani őket. Az emberi népesség generációról generációra exponenciálisan nő (egy 1 millió lakosú város egy generációt követően a kétszeresére tud növekedni, majd generációinként 4, illetve 8 millióra nő az ott élők száma), ugyanakkor az ellátásukat szolgáló élelmiszertermelés csak számtani sor szerint képes növekedni (1 millió ember ellátása egy generációt követően 2 millióra tud emelkedni, majd ugyanaz a földterület generációról generációra 3, illetve 4 millió ember képes ellátni). Malthus szerint végül egyszerűen elfogyna az élelem a világon és az emberek éhen halnának. Szörnyű felismerés ez, de a természet így tartja kordában a túlnépesedést.

A világ népeinek szerencséjére ez a baljós előrejelzés túlzottan peszszimistának bizonyult. Malthus egy olyan évezred vége felé írta tanulmányát, amikor a halálozási statisztikák Európában nagyrészt a mezőgazdasági betakarítás sikerétől vagy éppen kudarcától függtek, az ipari forradalom azonban hamarosan gyökeresen megváltoztatta mindezt. Nagy-Britanniának nem kellett többé saját területein megtermelnie a szükséges élelmiszert, inkább a gyarmataira támaszkodott - a cukrot a Karibi-szigetekről, a búzát Indiából, a teát Ceylonról, a húst pedig Ausztráliából szerezte be.

A Malthust követő évszázadokban ráadásul az emberi találékonyság hihetetlen dolgokat eredményezett a mezőgazdaságban: egy hold föld termőképessége olyan mértékben megnövekedett, amit az egykor lelkész elképzelni sem tudott volna. 1970-ben Norman Borlaug Nobel-békedíjat kapott magas terméshozamú gabonafajták kifejlesztéséért, amelyek víz és műtrágya hozzáadásával vastag kalászt növesztenek,

mégsem hajlik meg a száruk. Az 1970-es évek közepére Indiában a búza- és kukoricaföldek területe megduplázódott. Egy hasonló kutatás eredményeképpen ugyanebben az időben fejlesztették ki a nagy szemű „csodarizst” a Fülöp-szigeteken. Végül is a megnövekedett népesség nem jelent szükségszerűen több éhezőt.

Manapság, a XXI. században Malthus alapvető aggodalmai a termőföld és élelmiszerkészleteink véges voltáról ismét visszatértek. A kérdés többé azonban nem az, hogy technológiailag fel vagyunk-e készülve az egyre növekvő populáció ellátására, inkább az, hogy jogunk van-e ezt megtenni? Vajon bolygónk képes újabb milliárd embert ellátni anélkül, hogy tönkremenne bele?

A népességnövekedés problémája

Volt idő, amikor az optimisták Malthus borúlató jóslatát elvetették, és sokan hittek abban, hogy minél több ember él a Földön, annál jobb lesz az emberiségnek. Több ember ugyanis több ötletet, több tehetséget és több találmányt hozhat planétánk számára is.

Mára megváltoztak a körülmények. A fenyedező klímaváltozás és különösen a nyugati társadalmakra jellemző túlzott fogyasztás problémái a népesség növekedését ismét annak metaforájává tették, hogy az emberiség milyen vakmerő hanyagsággal képes bánni bolygóinkkal. Minél több ember él a Földön, annál kevesebb vízzel számolhatnak az afrikai földművesek, annál kevesebb termőföld jut egy főre globálisan, és annál csekélyebb a lékgör kapacitása az üvegházhatású gázok számára - a munkahelyek számának csökkenéséről és a nehezebb megélhetésről nem is beszélve.

„6,8 milliárd ember él a Földön - írta a Világfigyelő Intézet (Worldwatch Institute) programigazgató-helyettese, Róbert Engelman 2009-ben. - Ahhoz, hogy a problémát kezelni tudjuk anélkül, hogy bárkitől

is meg kellene szabadulnunk, először is radikálisan csökkentenünk kellene az egy főre eső ökológiai lábnyomunkat, mégpedig technológiai üjítások és komoly életmódbeli változtatások kikényszerítésével. Amíg azonban a Föld népességnövekedése nem áll meg, mindenáron vissza kell szorítanunk a fosszilis energiahordozók és más természeti erőforrások kiaknázását. Kijónanító a probléma alaposabb áttanulmányozása: amennyiben a halálozási ráta hirtelen katasztorfálisan meg nem ugrik vagy előre nem látott okból nem csökken a föld termőképessége, a világ népessége szinte bizonyosan legalább 1-2 milliárdal növekedni fog."

Azok az országok, amelyekben jelenleg alacsonyabb az egy főre jutó fogyasztás mértéke - ilyenek például a fejlődő országok, valamint India és Kína -, kétségkívül szívesen követnék egy átlagos amerikai vagy brit állampolgár életmódját. Ez azonban a világot a pusztulás szélére sodorná.

Joel E. Cohen, a New York-i Rockefeller Egyetem népességnövekedési laboratóriumának munkatársa az emberi populáció változásait követte nyomon a történelem során. Állítása szerint a teljes populáció éves növekedési arányszáma az elmúlt 2000 év során nagyból ötvenszeresére nőtt: 1965 és 1970 között Kr. u. 1-től 1650-ig terjedő időszakra jellemző 0,04%-os évi átlagról minden idők legmagasabb, 2,1%-os éves szintjére emelkedett. „Az emberiség jelenlétének bolygóra gyakorolt hatásai nagyobb mértékben növekedtek, mint maga a népesség - írta egyik cikkében a *Science* magazinban. - Míg például 1860 és 1991 között a népesség több mint négyszeresére nőtt, az élettelen energiaforrások felhasználása 10%, azaz 1 milliárd MWh/év mennyiségről 93 milliárd MWh/évre emelkedett.”

Amennyiben a halálozási ráta hirtelen katasztorfálisan meg nem ugrik vagy előre nem látott okból nem csökken a föld termőképessége, a világ népessége szinte bizonyosan legalább 1-2 milliárdal növekedni fog.

Cohen 1995-ben készült előrejelzései szerint az alapul vett 1,6%-os növekedési arányszám változatlansága esetén a világ népessége 2038-ra meg fog duplázódni, bár állítása szerint ez nem valószínű. „A kevésbé fejlett területek népessége évi 1,9%-kal nő, míg a fejlettebb régiók esetében ez az érték csak 0,3-0,4%. Az emberiség jövője, akárcsak a gazdaság, a természeti környezet és a kultúra jövője, megjósolhatatlan. Az ENSZ rendszeresen publikálja a népességnövekedésre vonatkozó

A FÖLD NÉPESSÉGE

2009: 6,8 milliárd

2050: 12,5 milliárd

legalacsonyabb és legmagasabb becsült adatokat. Egy 1992-ben megjelentetett előrejelzés szerint az aktuális születési adatokat alap véve a XXI. században egy asszony élete során születendő gyermekeinek száma világ-szerte átlagosan 2,5-re fog lecsökkenni. Ebben az esetben 2050-re a népesség el fogja érni a 12,5 milliárdot.”

1960-ban Heinz von Foerster, az Illinoisi Egyetem munkatársa olyan végletes népességnövekedési modellt állított fel tréfából, amit csak úgy emlegetnek: „világvége-egyenlet”. A *Science*-ben megjelent írásában arra a következtetésre jutott, hogy 2026. november 13-án, pénteken „az elmúlt két évezredre jellemző növekedési tendenciák változatlansága esetén az emberi populáció nagysága meg fogja közelíteni a végtelenet”.

Számításait olyan körülményekre alapozta, „amelyek már szinte paradoxomiak - nincsenek környezeti kockázatok, káros kölcsönhatások az elemek között és az élelemforrások korlátlanok ahol a biológiai populáció egészének sorsa teljes mértékben és folyamatosan egyedeinek két alapvető tulajdonságától függ: termékenységüktől és halandóságuktól”.

Von Foerster szándéka mindezzel az volt, hogy felhívja a figyelmet arra a heves vitára, amely a népességnövekedés korlátozásának szükségeséről szólt. „Ez a vita két határozottan szembenálló táborra osztja az érintett népesség azon csoportját, amely hivatásánál fogva érdeklődést mutat az emberiség sorsa iránt: az optimisták a népesség-

robbanásban a leendő ügyfélkör bővülését látják, legyen szó békéholmikat vásárlókról, szavazókról vagy odaadó hívekről, a pesszimisták ezzel szemben a természeti erőforrások gyors felélése, illetve a bioszféránkat tönkretevő visszafordíthatatlan következmények miatt aggódnak."

Von Foerster szerint az optimisták ragaszkodnak ahoz az elképzeléshez, hogy bármilyen gyorsan növekedjen is a népesség, az élelmiszer-technológia és -ipar könnyedén lépést tud majd tartani vele - ez az ün. adekvát technológia elve, amely állítása szerint több mint száz generáción keresztül megállta a helyét, akkor miért ne lenne erre képes még legalább három továbbin át?

A pesszimisták ezzel szemben azzal számolnak, hogy a népsűrűség további gyors növekedése „az emberi méltóság hanyatlásával fog járni, szerintük ha nem teszünk valamit annak érdekében, hogy a Föld népességének növekedését valamilyen formában kordában tartsuk, az emberi faj végzete az lesz, hogy egyedei a létmínimum határán fognak vegetálni”.

Megengedhetjük-e magunknak a népességnövekedést?

Heinz von Foerster pesszimistái nem ok nélkül aggódnak a természeses környezetünk tönkretétele miatt. Amióta az emberi faj először megjelent Afrikában, az azóta a légkörbe került szén-dioxid mennyisége mostanra gyakorlatilag egy környezeti katasztrófa szélére sodort benünket. A legoptimistább becslések szerint a Föld hőmérséklete átlagosan legalább 2 °C-kal fog megemelkedni a század végére, aminek már most érzékelhetjük a hatásait az egyre keményebb aszályok, heves viharok és emelkedő tengerszint jelenségein keresztül.

A XXI. század közepére már valószínűleg 9 milliárdan vagy annál is többen fogunk a Földön élni, ami már önmagában sem biztat túl sok

jóval. Ráadásul azokban az országokban várható nagyobb növekedés, amelyek az egy főre jutó energiafogyasztásukat és természeti erőforrás-igényüket is növelni szeretnék. „Hasonló arányú népességnövekedés, illetve az azt követő fogyasztásnövekedés megy végbe jelenleg Kínában (1,34 milliárd fő) és Indiában is (1,2 milliárd fő) - írja Engelman. - Az utóbbi időben minden országban olyan gyorsan nőtt az egy főre jutó energiafelhasználás mértéke (legalábbis 2007-ben, a gazdasági válságot megelőzően), hogy változatlan tendenciák esetén 2040-re egy átlagos kínai többet fog fogyasztani, mint egy átlagos amerikai, az indiaiak pedig 2080-ra fogják elérni ezt a szintet. A népesség és a fogyasztás így kölcsönösen hat egymás növekedésére, exponenciálisan emelve ökológiai lábnyomunk méretét.”

Mi várható?

A jóslatoknak is megvan a maguk szerepe, de hogy a népességszám valójában hogyan fog alakulni az elővetkező évszázad során, az gazdasági, környezetvédelmi, kulturális, politikai és demográfiai döntések sorozatától függ. Joel E. Cohen utánanézett, vajon mennyit bír még elviselni a Földünk? A különböző szakemberek és szervezetek előrejelzései meglehetősen ijesztő képet festettek le. „A legtöbb szerző megadott egy minimum és maximum értéket a becsléseinél - írja Cohen. - Ha ezeknél a szerzőknél a megadott értéktartomány maximum értékét, egyéb esetekben pedig a megadott egyetlen értéket átlagoljuk, akkor a 65 tanulmány becsült népességa adatainak felső középértéke 12 milliárd lesz. Az értéktartományokat megadó szerzőknél a minimum értékeket, más szerzőknél a pontos értékeket átlagolva a 65 tanulmány becsült népességszámának alsó középértéke 7,7 milliárd lesz.”

Az így kapott, népességszámra vonatkozó alsó és felső becsült középérték majdnem megegyezik az ENSZ 2050-es előrejelzéseiben meg-



Szmogfelhőből kiemelkedő felhőkarcolók a közép-kínai Hubei tartomány Wuhan városában. A Föld befogadóképessége véges, a népesség növekedésével a nagyvárosok is egyre zsúfoltabbá és szennyezettebbé válnak.

adott hasonló értékekkel, amelyek 7,8, illetve 12,5 milliárdos népességgel számolnak. „A határértékek előrejelzésének történeti áttekintése természetesen nem bizonyíték arra, hogy a valós számok valóban ezen az intervallumon belül maradnak. Mindez csak figyelmeztetés arra vonatkozóan, hogy az emberiség olyan úton jár, ahol a Föld terhelhetőségenek korlátai előre láthatóvá váltak, illetve el is érhetjük őket” - állítja Cohen.

Mit tehetünk?

Vajon a népességnövekedés korlátozása az egyetlen mód, hogy elkerüljük Heinz von Foerster baljós előrejelzését? Angliában egy pártsemleges, népességpolitikával foglalkozó parlamenti frakció nagyobb erőfeszítéseket követelt a kormány részéről a népességnövekedés megfékezésére, az ős-környezetvédő Jonathan Porritt pedig, aki korábban

a kormány Fenntartható Fejlődés Bizottságának (Sustainable Development Commission) elnöke volt, arra utalt, hogy a kettőnél több gyermeket vállaló szülők felelőtlenséget követnek el.

„Két fontos kérdés merül fel a népességpolitika előtérbe kerülésével: vajon a természeti környezet fenntarthatósága szempontjából létezik-e olyan megvalósítható módszer, amely képes lelassítani a népességnövekedést? És ha igen, akkor milyen intézkedésekkel lehetne ezt végigvinni, amiket az állampolgárok és a politikusok egyaránt hajlandók elfogadni?” - veti fel Robert Engelman.

A népességnövekedés lelassulása több előnyel is járna. Brian O'Neill, az amerikai Nemzeti Légkörkutató Központ (National Center for Atmospheric Research) munkatársa kiszámította, ha annyira le tudnánk lassítani a népességnövekedést, hogy 2050-re az előrejelzett 9,1 milliárd helyett csak 8 milliárdan lennénk, akkor évente 2 milliárd tonna szenet takaríthatnánk meg. Ráadásul a több mint 1 milliárddal

kevesebb embernek kevesebb földre, vízre, halra, egyéb élelmre és fából készült termékekre lenne szüksége.

„A természetnek persze tökéletesen mindegy, hány ember él a Földön - állítja O'Neill. - A természet szempontjából csak annak van jelentősége, hogy összeségében mit és mennyit vesz el,

Egy etiópiai földműves asszony-nak tíz gyermeké is születhet, mégis kisebb kárt okoz és kevesebb természeti erőforrást vesz igénybe, mint egy átlagos minnesotai, manchesteri vagy müncheni anya a családjával együtt.

illetve ad vissza az emberiség, azaz a kitermelt természeti erőforrások és a megmaradt hulladék mennyisége számít. Amikor ezek meghaladnak egy bizonyos határértéket, természeti környezetünk hirtelen drámaian átalakulhat. A természetre gyakorolt befolyásunk mértéke azonban nemcsak annak eredménye, hogy háyan vagyunk, hanem hogy milyen viselkedésmintákat tanulunk a szüléinktől és a kultúráinkból.

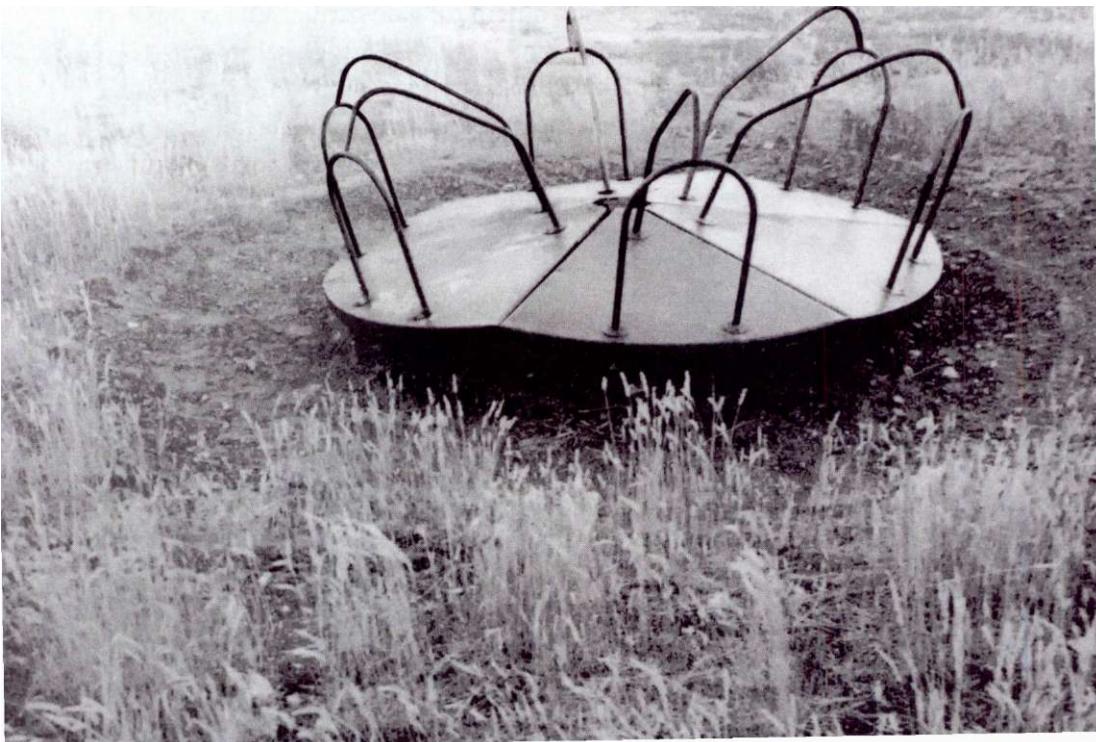
Lényegében arról van szó, hogy amennyiben a népességszám arra utal, hányan vagyunk, akkor a fogyasztás arra: hogyan viselkedünk egyénenként. Egyenlőtlen világunkban előfordul, hogy egy tucatnyi ember magatartása az egyik helyen nagyobb mértékben hat a környezetre, mint pár száz másik emberé egy másikon."

2009-ben megjelent *Peoplequake* (Földrengető emberiség) című könyvében a környezetvédelmi újságíró Fred Pearce azt állítja, hogy természeti környezetünk szempontjából a problémát nem az emberi népesség számának növekedése jelenti, hanem a fogyasztás növekedése. Rámutatott, hogy a teljes népesség 45%-ának megfelelő szegényebb 3 milliárd ember a szén-dioxid-kibocsátás alig 7%-áért felelős, míg az alig 7%-ot kitevő leggazdagabb félmilliárdot terheli a szén-dioxid-termelés 50%-a. „Egy etiópiai földműves asszonynak tíz gyermeké is születhet, mégis kisebb kárt okoz és kevesebb természeti erőforrást vesz igénybe, mint egy átlagos minnesotai, manchesteri vagy müncheni anya a családjával együtt. Abban a nem túl valószínű esetben, ha az etiópiai asszony tíz gyermeké megérné a felnőttkort, és szintén tíz-tíz gyermeké születne, a teljes százfős család éves szén-dioxid-termelése nagyjából megegyezne a mi egy főre eső kibocsátásunkkal.”

Ezek szerint a népességnövekedés által előidézett világvége elkerülhető lenne, de csak akkor, ha hajlandók vagyunk áldozatokat hozni érte.

Mi történik, ha egy ország képtelen pótolni kivándorló és elhalálozó állampolgárait? A népesség fogyása a munkaerő és az adóbevételek csökkenésével jár, ami az alapvető szolgáltatások forrásait is érinti. Mindez egy ország hanyatlásához vezethet.

Halálozási spirál



okszor aggódunk amiatt, hogy túl sokan élünk a Földön. Valahány-szor felmerül a bolygó által elviselhető optimális népességszám kér-de, a problémát többnyire a túlzott fogyasztás és az erőforrások ki-merülése jelenti.

A gazdasági növekedés szempontjából azonban a népesség fogyása is komoly fejfájást okoz. A csökkenő lakosság a kevesebb adóbevétele mellett egy ország innovatív és ipari lehetőségeit is beszűkíti, arról nem is beszélve, hogy minden globális szinten is kihathat a gazdasági és politikai erőviszonyokra. Nem csoda, hogy az előregedő és hanyatló társadalmak - köztük olyan jelentős gazdasági hatalmak, mint Japán, Oroszország és Ausztrália - annyira kétségeket keresik a megoldást a népességegyensúly megtartására.

Nem nagy a valószínűsége annak, hogy az emberi faj éppen azért fog kipusztulni, mert nem születik elég gyermek - ez nem a klasszikus értelemben vett világvége-forgatókönyv. A szaporodás végül is meglehetősen jól megy nekünk.

A társadalmak hanyatlásával talán nem fog egyik napról a másikra eljönni a világvége, de radikálisan megváltozhatnak a globális erőviszonyok. Megválaszolatlan és aggasztó azonban az a kérdés, hogy ez a világ javát fogja-e szolgálni vagy sem.

Mi történik a népességgel?

Összességében növekszik a Föld népessége, ez az emelkedés azonban az utóbbi évtizedekben lelassult. Ahhoz, hogy a népességszám globális szinten stabilizálódjon, átlagosan 2,3 gyermeknek kellene világra jön-nie családonként. A fogamzásgátló módszerek elterjedésével és a nők tájékozottabbá válásával azonban a születések száma világszerte csök-kenő tendenciát mutat.

Az 1950-es években családonként még átlagosan 5-6 gyermek jött a világra, ez a szám az 1970-es évek végére 3,9-re, 2000-ben 2,8-ra csökkent, 2008-ban pedig már csak 2,6 baba született. Fred Pearce *Peoplequake* című könyvében azt írja, hogy a világ népességének csaknem felettel kitevő több mint 60 országban a termékenységi arányszám az adott ország népességpótlásra alkalmas szintje alatt van. A hanyatlás jelenlegi mértékét alapul véve, a világ termékenységi arányszáma röviddel 2020 után a népesség utánpótlási szintje alá fog süllyedni.

Az ENSZ Népesedési Osztálya (United Nations Population Division, UNPD) által 2008-ban kiadott előrejelzés szerint a fejlett országok 60 évnél idősebb lakosainak száma az eddigi leggyorsabb mértékben (évi 1,9%-kal) nő, és az elkövetkező négy évtized során ez várhatóan további 50%-kal fog emelkedni, azaz a számuk a 2009-ben becsült 264 millióról 2050-re 416 millióra fog emelkedni. Ugyanakkor „az átlagosan egy nőre jutó gyermekek száma a 2005 és 2010 között mért 2,56-ról 2045 és 2050 között 2,02-re fog visszaesni. 2005 és 2010 között a fejlett országok - köztük Japán és a legtöbb dél-, illetve kelet-európai or-

Az átlagosan egy nőre jutó gyermekek száma a 2005 és 2010 között mért 2,56-ról 2045 és 2050 között 2,02-re fog visszaesni.

szág - termékenységi arányszáma az egy nőre jutó 1,5 gyermek alatt volt.”

Az előrejelzések alapján az ENSZ szerint az elkövetkező évtizedekben világszerte több országnak - köztük Japánnak, Oroszországnak, Fehéroroszországnak, Moldovának, Észtországnak, Kanadának és Olaszországnak is - szembe kell néznie népességszámának csökkenésével.

A népességcsökkenés okai

A népesség csökkenését több tényező is előidézheti, például kivándorlás, háborű, járvány, éhínség vagy a születésszabályozás. Európá-

ban annak idején a pestisjárvány, Amerikában pedig a spanyol hódítók megjelenése vezetett az ottani lakosság megtizedeléséhez - utóbbi esetben egyrészt az amerikai őslakosoknak az Európából származó kórokozókkal szembeni immunitáhiánya, másrészt a hódító háborúk és tömegmészárlások következményeként.

Az elmúlt évszázad során több országban is a népességszaporodás korlátozásához vezettek a túlnépesedés miatti aggodalmak. A XVIII. században Thomas Malthus vetette fel először ennek az ideáját, amikor a korlátlan népességnövekedéssel járó éhínség veszélyeire hívta fel a figyelmet. Azóta a hatalomgyakorlók igyekeztek megfékezni a túlnépesedést, ha nem is mindig a legnemesebb céloktól vezérelve. Malthus nem támogatta a szegények megsegítésének ötletét - például az oltások ellen érvelt, mivel ezek is csak a populáció növekedéséhez vezettek volna. *Tanulmány a népesedés törvényéről* című írásában kifejtett gondolatai ihlették meg az első fajnemesítőket is. A XX. század első felében igen népszerű, de mára már elvetett eugenika elmélete a faji előítéletekre, illetve az osztálykülönbésekre építő, igencsak megkérdőjelezhető el képzélés, amely szerint ha a Föld csak korlátozott számú embert képes eltartani, akkor az lesz a legjobb, ha ezek a tanult, középosztálybeli, fehér bőrű emberek közül kerülnek ki.

Az eugenika XX. századi változata a kormányok döntéseit is képes befolyásolni. Az 1950-es évekre a „népességszabályozók” mindenhol betették a lábukat, civil szervezetekben és ENSZ-képviseleteken tördeálták a kezüket a közelgő, Malthus által megjósolt túlnépesedési katasztrófa miatt, és a népességnövekedés korlátozásának szükséges ségére hívták fel a figyelmet a világ legszegényebb régióiban. Több, az Egyesült Államok által támogatott családtervezési programmal céloztak meg olyan országokat, mint például Törökország, Malajzia, Egyiptom, Chile, Marokkó, Kenya és Jamaica (olyan külföldi segélyeken, kereskedelmi egyezményeken keresztül, amelyek feltételéül időnként a nyugati elvárásoknak megfelelő népességcsoportot határozták meg).

Az indiai kormány anyagi támogatásban részesítette (a sokszor kényeszerrel) meddővé tett állampolgárait, Kína pedig hírhedt az egygyermekes családpolitikájáról, ami brutális abortuszokra kényszeríti azokat, akik megszegik ezt a szabályozást.

A népességcsökkenés egyéb tényezői

Malthus jövendöléseit mára már megcáfolták (nem láthatta előre a mezőgazdasági technológia fejlődését, ami sok millióval több ember ellátására tett képessé minket), a környezetvédők azonban a klímaváltozás egyik következményeként továbbra is a népességszám drasztikus csökkenését jósolják a jövőben. Állításuk szerint a bizonytalan vízellátású és az áradások miatt lakhatatlanná vált területek egyre jobban visszafogják a növénytermesztést, és az alapvető életfeltételek (víz, élelmiszer) hiányában a lakosság kénytelen lesz elvándorolni. Háborúk törnek majd ki az élelem és víz megszerzéséért, milliók, esetleg milliárdok pusztulnak éhen vagy olyan járványok következtében, amelyek elterjedésének kedvez az egyre melegedő éghajlat.

Az elmúlt két évtized során a tudósok szintén megfigyelték a termesztes termékenység visszaesését. Számos tanulmány kimutatta, hogy a férfiak spermaszámában világszerte 25-50%-os csökkenés tapasztal-

ható. „Ez elsősorban a férfiakat érintő környezeti és életmódbeli változások ártalmas hatásainak tudható be, és kevésbé magyarázható például genetikai változásokkal - állítja Shiva Dindyal,

tovább, pár éven belül általános

az Imperial College School of Medicine munkatársa. - Amennyiben a spermaszám a jelenlegi mértékben csökken tovább, pár éven belül általános lesz a férfimeddőség. A mai napig feltáratlan ennek a jelen-

ségnék a háttere, a tendenciát megállítani képes esetleges megelőző intézkedések pedig nem ismertek."

Feltételezések szerint a spermaszám csökkenése a környezetünkben egyre nagyobb arányban megtalálható kémiai szennyezőanyagoknak köszönhető, különösen azoknak, amelyek a női ösztrogén hormonhoz hasonlóan viselkednek. „Ezek a vegyi anyagok megtalálhatók az ételkonzervek műanyag bevontatában, a rovarirtó szerekben, a műanyagtermékekben és a festékekben. Laboratóriumi vizsgálatok során kiderült, hogy sok mesterségesen előállított vegyi anyag az ösztrogén hormonhoz hasonló hatást fejt ki - elemzi Dindyal. - A sejten belüli ösztrogénreceptorokhoz kapcsolódnak, amelyek elsősorban a célsejtbén található speciális fehérjékből állnak: ezek felismerik a hormont és lehetőre teszik, hogy bizonyos ösztrogénérzékeny géneket szabályozzon a sejten belül.” Az ún. hamis ösztrogének ugyanígy kapcsolódni tudnak az emberi sejtekhez, ezáltal meggátolják a természetes hormonok megfelelő működését.

A spermaszámot csökkentő további befolyásoló tényezők között található a dohányzás, az alkoholfogyasztás és az indokolatlan gyógy-szerfogyasztás. Az Idahói Egyetem tudósai arra az eredményre jutottak, hogy a mérgező vegyi anyagok károsíthatják a spermákat, amelyek aztán módosult géneket örökítenek át az utódokra. Patkánykísérletek során az derült ki, hogy bizonyos kerti vegyszerek használata a prosztata károsodásához vagy megnagyobbodásához, meddőséghez, illetve veseproblémák kialakulásához vezethet, és ezek akár négy generációval később is kimutathatók.

Mit tehetünk?

Az oroszok egy ideje már komolyan foglalkoznak a népességcsökkenés problémájával. 2006-ban az akkor elnök, Vlagyimir Putyin bevezetett

egy olyan tervezetet, amely szerint pénzügyi ösztönzők segítségével vennék rá a nőket a gyermekvállalásra. A Szovjetunió összeomlása óta folyamatosan csökken Oroszország népessége, amit tovább fokozott a kivándorlás és a betegségek, köztük a HIV-fertőzés. A kormány szerint ezek a tényezők 2050-re akár a harmadával is csökkenthetik az orosz lakosság számát.

Más országokban is próbálkoztak hasonló intézkedésekkel: Ausztráliában a pároknak 4000 dollárt és gyermekgondozási költségeik átvállalását ajánlotta fel a kormány, de Franciaországban, Olaszországban és Lengyelországban is kidolgoztak hasonló családtámogatási törvényeket.

Japánban, a Tokiótól nem messze fekvő Yamatsuri városában a gyermeket vállaló szülők pótlékban és éves támogatásban részesülnek minden gyermekük 10 éves koráig. Szingapúrban ezzel szemben az első gyerek után 3000 dollár, a második gyerek után 9000 dollár támogatás jár, a további gyerekek születése után pedig duplája.

A népesség csökkenése még nem jelenti az emberi civilizáció végét, de komoly és mélyreható befolyással lehet a társadalmak átalakulására és arra, hogy az egyes országok milyen szerepet töltenek be globális szinten. Talán csak a dolgok természletes körforgásáról van szó, amikor a különböző országok demográfiai előnyeiket kihasználva vezető szerephez jutnak.

Megváltozik-e a világ, ha kevesebben leszünk? Mindenképpen. Szerencsétlen véget fog-e érni ennek következtében? Remélhetőleg csak kevesek számára.

2002-ben aggodo tudosok egy csoportja levelet írt az akkorai amerikai elnöknek, George W. Bushnak. Üzenetük lényegre törő volt: az Egyesült Államokat egy olyan támadás komoly veszélye fenyegeti, amely jóval nagyobb kárt okozhat a nemzeti pszichében és a gazdaságban, mint a 2001. szeptember 11-én elkövetett kegyetlen terrortámadás.

Kiberháború

gy ország kritikus infrastruktúrája igen sebezhető: ide tartozik az energetikai és a pénzügyi szektor, a telekommunikáció, az egészségügy, az úthálózat, a vízellátás, a honvédelem és az internet is. A tudósok gyors és határozott megelőző lépéseket sürgették egy országos katasztrófa elkerülése érdekében. „Aggódó tudósokként és vezetőkként folyamodunk a segítségéért és felajánljuk a miénket” - írták.

A levél szerzői többféle intézményt képviseltek - technológiai vállalatokat, tudományos intézményeket és politikai tanácsadó cégeket. Az elnökhöz intézett üzenetükben felvázolták a felkészületlenség lehetséges következményeit.

„Gondoljuk végig a következő forgatókönyvet! Egy terroristaszerzet egy reggel bejelenti, hogy délután 4 órakor 6 óra hosszára lekapcsolja az északnyugati államok áramhálózatát, majd meg is teszi. Ezt követően ugyanez a szervezet bejelenti, hogy fél napra elvágja a legfontosabb telekommunikációs kapcsolatokat az Egyesült Államok keleti és nyugati partja között, majd így is cselekszik - mindez annak ellenére, hogy akkorra már minden lehetséges eszközünkkel megpróbáltuk megakadályozni mindezt. Ezután azzal áll elő, hogy kiiktatja a New York légi közlekedését irányító központot, hogy egyetlen gép se tudjon fel-, illetve leszállni - és véghez is viszi.”

A tudósok szerint újabb fenyegetések következnének, amelyek azt demonstrálnák, hogy az ellenség képes megbénítani a teljes kritikus infrastruktúrát. Végül a terroristák azzal fenyegetőznének, hogy amennyiben követeléseik hosszú listáját egytől egyig nem teljesítik, megbénítják az elektronikus kereskedelmet és a hitelkártya-forgalmat. „Képzeljük el az ezt követő pánikot és zűrzavart. Egy ilyen esemény sorozat kibontakozása esetén mi, amerikaiak joggal éreznénk úgy, hogy nemzeti szuverenitásunkat alapjaiban sérтték meg, és nem értenénk, mindez hogyan törtéhetett meg velünk.”

A példában az Egyesült Államok szerepelt, de minden a világon bármelyik modern állammal előfordulhatna. Egy ilyen katasztrofális

forgatókönyv velejárója minden informatikai rendszerektől erősen függő társadalomnak, a figyelmeztetés pedig arra az új típusú hadviselésre hívta fel a figyelmet, ami képes a világ gazdaságait a pusztulásba szítani: ez pedig az információs hadviselés, más szóval kiberháború.

Világunk, a hálózat

Az 1980-as évektől kezdődően számos hollywoodi film főhőse a magányos hacker, aki a hálószobájában ülve képes átvenni az irányítást távoli katonai számítógépes hálózatok felett. A kiberterroristák által okozott potenciális károk miatt csak a vilagháló használatának széles körű elterjedése óta kell komolyan aggódnunk, ami nagyjából az 1980-as évek végére, az 1990-es évek elejére tehető. Azelőtt csak viszonylag elszigetelten léteztek az egymástól független (főként katonai és vállalati) számítógépes hálózatok, amelyek csak belső kommunikációra szolgáltak. A városok kritikus infrastruktúráját hús-vér emberek irányították; az alkalmazott számítógépek inkább csak az információ feldolgozását segítették, és nem töltötték be irányító szerepet.

Mindannyian tisztában vagyunk azzal, hogy mi történt azóta. A mikroprocesszorok ára évről évre egyre alacsonyabb, egyre nagyobb teljesítményű számítógépek jelennek meg a piacon, az emberek pedig szinte minden a gépek irányítására bíznak, amelyek ráadásul minden kapcsolódnak a vilaghálóhoz. Mai modern világunkat a számítógépek működtetik, a háttérben információkat és parancsokat továbbítanak egymásnak, erőműveket ellenőriznek, közlekedési lámpákat irányítanak, biztosítják a légi szállítók biztonságos repülését és a vegyi üzemek optimális kihasználtságát.

Ez a hálózat eddig ismeretlen előnyökkel ajándékozta meg társadalunkat. Azonban mint minden, ami igazán értékes, első számú cél pontjává vált a világ feletti hatalomra töröknek.

A számítógépek hatására átalakult a modern hadviselés, a pilóták valahol az Egyesült Államokban egy vezérlőteremben ülve irányítják a több ezer km-re lévő robotrepülőgépeket. Műholdas globális helymeghatározó rendszerek (GPS) irányítják a bombákat, a vadászrepülők és hadihajók pedig mozgó adatfeldolgozó központokként is funkcionálnak. A hálózati számítógépek minden új felhasználási területe újabb előnyökkel jár, ugyanakkor a támadások vagy az ellenőrzés megszerzésének folyamatos célpontjává is válik.

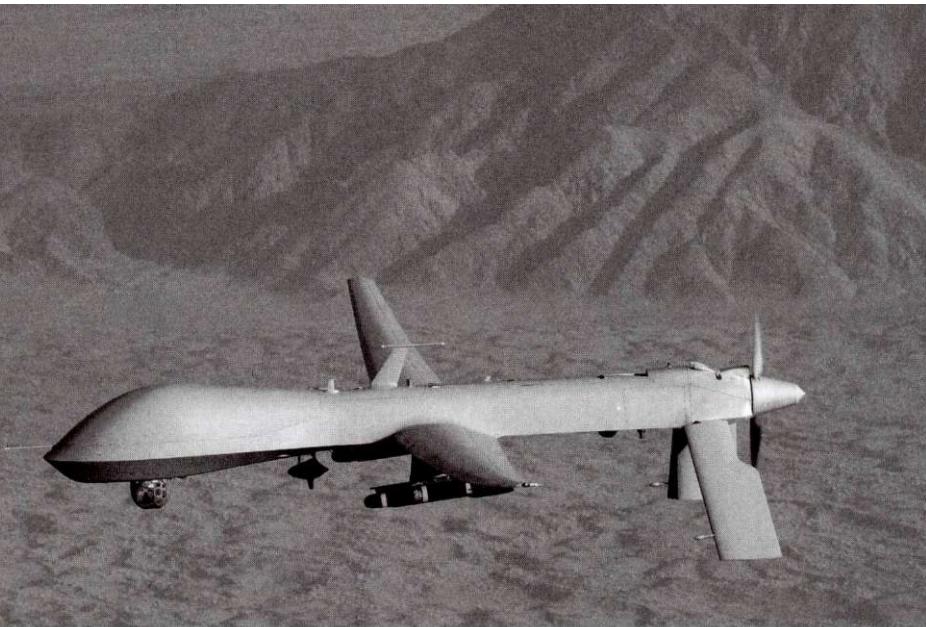
Civil oldalról egy ország kritikus infrastruktúrájának lekapcsolása egy hétre vagy hosszabb időre bénító hatású lenne: naponta több milliárd dollárjába kerülne a gazdaságnak, valamint teljes körű pánikhoz és félelemhez vezetne. Ha egy ország összes erőművét leállítanák a távolból, vagy valamilyen módon megsérülnének, vajon mennyi idő kellene ahhoz, hogy eluralkodjon a rettegés és a bűnözés? Elektromos áram hiján a bankok nem tudnának pénzt folyósítani, a kórházak nem

lennének képesek ellátni a betegéket, az épületbiztonság pedig megszűnne.

Egy ország kritikus infrastruktúrajanak lekapcsolása egy hetre vagy hosszabb időre benito hatásu lenne: naponta több milliárd dollarjába kerülne a gazdaságnak, valamint teljes korú pánikhoz es felelemhez vezetne

Ha minden egyszerre több országgal történne meg, olyan lenne, mintha vissza kellene térnünk a XX. század első felébe. Ez nem is hangzana annyira rémisztően,

ha nem lennénk tisztában azzal, hogy mai modern életünk mennyire internetfüggő. Az üzenetek küldése, a kapcsolattartás a kollégákkal, az információszerzés vagy bankszámlánk adatainak lekérése minden az interneten keresztül történik. A polcaink minden friss áruval feltöltött szupermarket logisztikája hálózati számítógépekkel működik, de ott-honunk és munkahelyünk áramellátása is ezektől függ. Mi, modern emberek talán tudnánk mindenek nélkül elni, de úgy döntöttünk, bele sem akarunk gondolni, hogyan.



Mai világunk jelentős részét számítógépek irányítják, köztük a fegyvereket is, mint például ezt az MQ-1 Predátor távirányítású repülőgépet. A hackerek óriási károkat okozhatnak, ha erőszakkal átveszik az irányítást az ilyen rendszerek felett.

A kiberterrorizmus veszélyeiről szóló cikkében a *The Economist* úgy írja le a kiberteret, mint az ötödik hadszínteret a szárazföldi, vízi, légi és űrhadviselés után. A téma fontosságának hangsúlyozására Barack Obama nemrég „stratégiai nemzeti vagyonná” nyilvánította az ország digitális infrastruktúráját, a Pentagon pedig Keith Alexander táborno-kot, a Nemzetbiztonsági Ügynökség (National Security Agency, NSA) igazgatóját nevezte ki az új informatikai parancsnokság élére, amelynek feladata az amerikai katonai hálózatok védelme, illetve más országok hasonló hálózatainak megtámadása.

Az Egyesült Királyságban az NSA-nek megfelelő Kormányzati Kommunikációs Főhadiszállás (Government Communications Headquarters, GCHQ) szintén rendelkezik kiberbiztonsági egységgel, de Kínáról, Oroszországról, Izraelről és Észak-Koreáról is köztudott, hogy óvintézkedésekkel készülnek egy esetleges kiberháborúra.

Az informatikai háború

Mielőtt a háborúk virtuálissá váltak, viszonylag egyszerű volt felmérni a szembenálló fél haderejét. Az ellenseg fő erősségei a rakétái, tankjai és hadserege voltak. Nem volt nehéz kiszámítani, mekkora veszélyt je-lentettek és milyen gyorsan tudtak hadba szállni.

Az informatikai hadviselésben az ellenfél kiléte többnyire ismeretlen. Egy hacker bárhol élhet a világon, beléphet egy másik állam számítógépes rendszerébe, és onnan indíthat támadást egy harmadik ország ellen. És ez még csak a legegyszerűbb forgatókönyv: hackerek csapata a világ bármelyik pontjáról, egyszerre több irányból is támadást indít-hat egyetlen ország hálózata ellen.

Richárd Clarké, több egymást követő amerikai elnök informatika-védelmi és terrorizmus elleni tanácsadója meg van győződve arról, hogy egy elektronikus támadás alig 15 perc alatt képes lenne katasztrofális méretű károkat okozni. „A számítógépes vírusok hatására összeomolhat a teljes katonai levelezési rendszer; olajfinomítók és kőolajvezetékek robbanhatnak fel; megszűnhet a teljes légi irányítási rendszer; teher- és utasszállító szerelvények kisiklását idézhetik elő; a pénzügyi adatok használhatatlanná válhatnak; az Egyesült Államok keleti részén teljesen megszűnhet az áramellátás; a Föld körül keringő műholdak elhagyhatják a pályájukat. És miután elfogytak az élelmiszerkészletek és a pénz, a társadalom rövid időn belül összeomolhat. Az a legszörnyűbb az egészben, hogy a támadó kilétére talán soha nem derül fény.”

2007 és 2008 között hackerek törtek be az amerikai Joint Strike Fighter vadászbombázó számítógépes rendszerébe, ahonnan ellopták a gép terveinek és elektronikájának adatait. A közvetlen támadást valahonnan Kínából indíthatták, de ez valószínűleg csak álca volt. Az adat-tolvajok végül több terabajtnyi információval léptek le.

2007-ben a világ egyik legfejlettebb számítógépes hálózatával rendelkező Észtország vált informatikai támadások sorozatának célponjává. Bankok, újságok, kormányzati szervek honlapjait árasztották el kérésekkel és spamekkel, megbénítva az ország internetes elérhetőségét és számítógépes hálózatait. A támadássorozatot száznál is több országból indították, az elkövetőket azonban sohasem sikerült azonosítani.

Mindez csak két példa az általunk ismert akciók közül. Jelenleg is számos kormány telepített világszerte bonyolult alvó vírusokat más országok számítógépes hálózataiba, amelyek létrehozóik parancsára bármikor aktiválódhatnak, és megbéníthatják az ellenséges számítógépeket. És ki a megmondhatója, hogy egy jól finanszírozott terroristacsoport nem éppen ugyanezt teszi? A naponta világszerte elküldött közel 150 milliárdnyi email 90%-a spam, s közülük bármelyik előre nem látható veszélyeket hordozhat magában: elég egyetlen embernek rákattintania egy ilyen gyanús üzenetre, és az ország teljes hálózatát eláraszthatja egy számítógépes vírus.

Kezdetben a programozók csak kedvtelésből készítettek vírusokat, mert jól szórakoztak azon, hogy egyre több számítógépet megfertőznek: 2000-ben az I Love You vírus például majdnem 10 milliárd dollárnyi kárt okozott, és a világ összes internetre kapcsolódó számítógépének 10%-át megfertőzte a fájlok felülrásával. Manapság a vírusok inkább csak elrejtőznek valahol a komputerekben, és olyan titkosított információk után kutatnak, mint például a bankszámlák adatai vagy a jelszavak. A *The Economist* szerint 2009-ben több mint 1 milliárd dollár veszteséget okozott a kiborbűnözés - ez az összeg még a világ drogkereskedmények forgalmát is meghaladja.

2009-ben több mint 1 milliárd dollár veszteséget okozott a kiborbűnözés - ez az összeg még a világ drogkereskedmények forgalmát is meghaladja.

Tehetünk valamit ellene?

Mint minden olyan fegyver esetében, ami hatalmas károkat okozhat, csakis az emberi viselkedés akadályozhat meg egy informatikai támadást. Keith Alexander üdvözli egy olyan egyezmény létrehozásának ötletét a jelentős gazdasági hatalmak között, amely a kiberháborúra vonatkozó közös irányelveket és szabályozást tartalmazná. „Ugyanakkor egy START-hoz (Strategic Arms Reduction Treaty, Stratégiai Fegyverek Korlátozó Egyezmény) hasonló egyezményről szóló tárgyalás szinte kivitelezhetetlennek tűnik - állítja a *The Economist*. - A nukleáris töltetek megszámolhatok, a rakéták pedig felkutathatók. Az informatikai fegyverek azonban inkább a biológiaiakhoz hasonlítanak abban, hogy gyakorlatilag bárhol előállíthatók.”

A George W. Bush elnökhöz írt levelükben az aggódó tudósok azt javasolták, hogy a probléma súlyosságára tekintettel érdemes lenne egy Manhattan-projekthez hasonló tervezetet kidolgozni az informatikai védelmi politikára vonatkozóan (a Manhattan-projekt a II. világháború alatt tudósok és mérnökök százait alkalmazta, hogy létrehozzák az atombombát). „A támadások megelőzése érdekében összehangolt erőfeszítéseket kell tennünk a kritikus infrastruktúráinkat irányítókkal, hogy megvédjük a legnélkülözhetetlenebb információs rendszereinket - írták. - A támadások felderítéséhez kritikus hálózatainkat át kell szőnie egy széles körű, a nagyarányú támadásokat is időben érzékelő és felismerő rendszernek, méghozzá úgy, hogy összefüggésbe tudja hozni az olyan, látszólag kapcsolat nélküli eseményeket is, amelyek valójában egy koordinált támadás részét képezik. Ahhoz, hogy a támadásokra megfelelően tudunk reagálni, olyan stratégiákat és eljárásokat kell bevezetnünk, amelyekkel előre eltervezhetjük a hatékony válaszlépéseket egy jelentősebb informatikai attak esetén, országos infrastruktúráinkat pedig olyan mechanizmusokkal kell kibővítenünk,

amelyek egy esetleges támadás észlelését és megerősítését követően támogatják ezeket."

A tudósok figyelemfelhívó levele óta eltelt évtizedben ezeknek a célkitűzéseknek egy része teljesült. Azonban a technológia is sokat változott azóta - a számítógépek világában tíz év rengeteg idő, és a mai létező hálózatok még komplexebbek és még inkább az életünk részévé váltak. Az emberek szinte folyamatosan kapcsolatban vannak egymással a mobiltelefonok segítségével, az adatok pedig olyan sebességgel és olyan mennyiségen röpködnek a levegőben, mint soha ezelőtt. A 2002-es levélben említett fontos figyelmeztetések azonban ma is ugyanolyan aktuálisak, mint megírásuk idején. Bármelyik pillanatban bekövetkezhet egy informatikai katasztrófa - jóval hamarabb, mint gondolnánk -, amelyre mindenki által érdemes felkészülnünk. Ahogy a tudósok írták: „Az óra ketyeg.”

I LOVE YOU VÍRUS (2000)

Okozott kár:

10 milliárd dollár

Vírusfertőzött számítógépek:

a hálózatra kapcsolódó gépek 10%-a

Az elmúlt fél évszázad során olyan szintre fejlesztettük a növények génmódosításának képességét, hogy mára legalapvetőbb molekuláris szinten is képesek vagyunk manipulációra. Ez a technológia lehetővé teszi, hogy javítsunk az élelmiszerek minőségén, de mint minden olyan dolog, ami később a környezetünk részévé válik, magában hordozza a nem kívánt következmények veszélyeit is.

Biotechnológiai katasztrófa

fehérjék és a DNS alaposabb ismerete lehetővé teszi, hogy a tudósok és gázdálkodók jobb minőségű terményeket fejlesszenek ki: a gyomirtóknak ellenálló, illetve a legszárazabb éghajlaton is termő bútát, hosszabb ideig frissen maradó paradicsomot vagy vitaminokban gazdag burgonyát és rizst.

Az élet alapvető elemeivel való kísérletezés azonban fokozott óvatosságot igényel. Mi történne, ha a beültetett gének, amiknek eredetileg semmi keresnivalójuk nincs az adott növényben, kiszivárognának a termesztes környezetbe? Előfordulhat, hogy a bútát a gyomirtóktól védő gének végül az út menti gyomokban kötnek ki? Mi történne, ha a GM-növényekhez felhasznált rovarirtó hatására annak ellenálló rovarfajok fejlődnének ki, amelyek aztán elárasztanák az egész országot, és még a leghatékonyabb vegyszerek sem lennének képesek kiirtani őket?

Már ez is éppen elég aggasztó, de van, ami még ennél is fenyegetőbb lehet az elkövetkező évtizedekben. A szintetikus biológia előretörésével a jövőben képesek leszünk a semmiből különböző életformákat létrehozni, amiket arra programozunk, hogy a hasznunkra legyenek. Mi történne azonban, ha ezeket a technológiákat (például a genetikailag módosított vírusok vagy mikrobák létrehozását) terroristacsoportok is elsajátítanák, és fertőzéseket terjesztenének el a segítségükkel? A megfelelő képlet birtokában egy hozzáértő gonosztevő létre tudna hozni egy levegőben terjedő Ebola-vírustörzset, amely pár nap alatt elterjedhetne az egész világban.

Az atombombához hasonló, az egész világot fenyegető fegyverekkel ellentétben a biotechnológia könnyen hozzáférhető, és bárki képes az egész világot veszélybe sodorni egy összetáktolt laboratóriumban. Martin Rees, a brit Királyi Természettudományos Társaság (Royal Society) korábbi elnöke egyszer arról beszélt, hogy emberek milliói veszhetnek oda egyetlen bioterror-támadás vagy „biohiba” következtében.

„Pokolian ijesztő belegondolni is - mondta a *New Yorker*nek adott interjúban Drew Endy, a Stanford Egyetem munkatársa, a szintetikus

biológia úttörője a rosszul alkalmazott technológiával veszélyeit illetően.

- Ez a tudomány egyik legizgalmasabb területe, mégis az általa felvetett kérdések a legnehezebben megválaszolhatók."

Mi is a GM? Mi baj történhet?

Attól függően, hogy kit kérdezünk meg, a növényi génmódosítás (GM) vagy csodaszer minden problémánakra, vagy maga Pandóra szelencéje. Többen amellett érvelnek, hogy döntő jelentőségű lehet a népességnövekedés és a klímaváltozás pusztító hatása következtében világsterre kialakuló élelmiszerhiány problémájának megoldásában. Ellenzői azonban úgy gondolják, hogy a génekkel való játszadozás eddig ismeretlen veszélyeket hordozhat magában, s hogy a tudósok gyakorlatilag magát a bolygót használják kísérleti terepnek, ahol azonban - az igazi laboratóriumokkal ellentétben - ha valami rosszul sül el, mindenannyian megszenvedjük a következményeket.

Roger Beachy, az Egyesült Államok Országos Élelmiszer- és Mezőgazdasági Intézetének (National Institute of Food and Agriculture) vezetője az első csoportba tartozik. Szerinte a genetikailag módosított, röviden GM-növények fontos eszközei a fenntartható földművelésnek; kifejlesztésekkel márás csökkent az ártalmat rovarirtók és gyomirtók használata, valamint a „termőtalaj-veszteség, mivel ezek a növények a talajművelés nélküli gazdálkodás módszereit támogatják. Mindazonáltal, ennek a területnek van még hová fejlődni."

Beachy rámutat, hogy a mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás felelős globálisan az üvegházhatású gázok kibocsátásának kb. 31%-áért, ami meghaladja az energiaszektor 26%-át is. „A metán és a kéjgázként is ismert dinitrogén-oxid-kibocsátás legfőbb forrása a mezőgazdaság, amely ugyancsak felelős a természetes vizek szennyezésének egy részéért a megművelt területeken használt műtrágya elszívárgása miatt.

A mezőgazdasági termelésnek pedig tovább kell növekednie. A globális népességnövekedés még nem állt meg, és 2050-2060 előtt ez valószínűleg nem is fog bekövetkezni. Addig is fokoznunk kell az élelmiszertermelést, miközben csökkentenünk kellene az üvegházhatású gázok kibocsátását, a talajpusztulást és a vizek szennyezését. Mindez óriási kihívást jelent. A magok és termények előállításában alkalmazott új technológiák segítségével lehetővé válik, hogy csökkentsük a műtrágya-felhasználást és az öntözés mértékét, miközben megmarad a magas terméshozam. A jobb minőségű magok felhasználása hasznunkra lesz, akárca a gazdálkodási gyakorlatban bevezetett változások."

Az Egyesült Királyságban is hasonló érveléssel került vissza a génmódosítás a politika és a tudomány asztalára egy évtizeddel a „Frankenstein-ételek” (biotechnológiával módosított táplálékok) bukását követően, amikor környezetvédelmi csoportok elértek, hogy a GM-technológiát felelőtlennék és ártalmassnak nyilvánításuk.

Ma már a világ számos részén engedélyezett ennek a technológiának az alkalmazása. Az Egyesült Államok élen jár a programban: 2009-ben a világ génmódosított terményeinek közel a fele innen származott. Brazília a második leglelkesebb híve a technológiának, ugyanebben az évben a világ termelésének 16%-át adta.

Ugandában a zöldpaprika egyik génjének beültetésével módosított banánnal kísérleteznek a *Xanthomonas wilt* baktérium ellen, ami a közép-afrikai régió teljes banán termését tönkretette, évente fél milliárd dolláros kárt okozva a gazdáknak. Az Európai Unió ennél sokkal óvatosabb. A 2010-ben termesztésre jóváhagyott génmódosított Amflora burgonya a keményítőnek olyan típusát tartalmazza, ami jól hasznosítható a papírgyártásban, a textiliparban és bizonyos ragasztóanyagok

GM TERMÉNYEK VILÁGSZERTE
USA 42%
Brazília 16%
Argentína 15%
India 6%

előállításában. Ezt megelőzően, 1998-ban hivatalosan engedélyezték a Monsanto biotechnológiai vállalatnak a Mon 810 típusú génmódosított kukorica előállítását, amely rezisztens a kukoricamollyal szemben.

Megjelenésük a vadon termő növények között

2010-ben találtak először genetikailag módosult vadon termő növényfajt az Egyesült Államokban. A repcefélékhez tartozó növényre Észak-Dakotában leltek rá, ami néhány tudós szerint rámutatott a GM-növények megfigyelésében és ellenőrzésében jelentkező hiányosságokra.

Cynthia Sagers, a fayetteville-i Arkansasi Egyetem ökológusa vezette azokat a kutatókat, akik az ún. transzgénikus kanola, azaz génmódosított repce két vadon termő alfaját is megtalálták. Az egyik fajta rezisztens volt a Monsanto's Roundup általános gyomirtó hatóanyagával, a glifozáttal szemben, a másik pedig a Bayer CropScience cég Liberty gyomirtójának glufozinát hatóanyagával szemben. Olyan növényeket is felfedeztek, amelyek minden két hatóanyagnak ellenálltak, ami arra enged következtetni, hogy a génmódosított növények képesek egymás között is szaporodni. Még ennél is elgondolkodtatóbb azonban, hogy ezekre a vadon élő populációkra nem a nagyüzemi termőföldek közelében, hanem azoktól jelentős távolságban bukkantak rá.

2004-ben a Syngenta svájci biotechnológiai cég bejelentette, hogy az Egyesült Államokban eladásra engedélyezett Bt-11 jelű génmódosított kukoricaracomány helyett véletlenül rosszul jelöltek meg és adtak el egy nem engedélyezett, Bt-10 jelű szállítmányt. Mindkét törzs a *Bacillus thuringiensis* talajbaktérium egyik génjét tartalmazza - ez segít védekezni a kukoricamoly ellen. A Bt-10-es törzs laboratóriumi verzió, amit kizárálag kísérleti célokra vesznek igénybe, ezzel szemben a Bt-11 felhasználása engedélyezett állati takarmányként az Egyesült Államokban.

Az effajta történetek érthető módon aggodalommal töltik el a fogyasztókat, bár érdemes kihangsúlyozni, hogy egyelőre kevés komolyan vehető bizonyíték van arra, hogy a génmódosított növények emberi fogyasztása ártalmas lehet.

Az Egyesült Királyságban a természetvédők nemcsak a növények biztonságáért aggódnak, hanem a velük párhuzamosan megjelenő széles spektrumú gyomirtók miatt is. Ezek olyan hatékonyan pusztítanak el minden mást a védendő növényen kívül, hogy a farmon élő állatok túléléséhez szükséges összes apróbb növényt és csírát is kiirtják. A talajban és a növényeken megbújó apró bogarak és lárvák populációinak eltűnésével együtt csökken többek között a velük táplálkozó madarak létszáma is. A megművelt földterületek ökoszisztémáján belül a küllönböző életformák egymással harcolnak a fényért és a tápanyagokért. A génmódosított növények termesztésével a gazdálkodók félelmetes lehetőséghöz jutnak, hogy minden mást kiszorítsanak ebből a versenyből, és saját növényeik számára hasznosítsák az összes természetes erőforrást.

2007-ben Emma Rosi-Marshall, a chicagói Loyola Egyetem ökológusa úgy találta, hogy a génmódosított Bt-kukorica hulladékán élő tegzes legyek lárvái fele olyan gyorsan nőnek, mint a nem módosítottból táplálkozó társaik. Ráadásul a Bt-kukorica virágporát fogyasztó tegzes legyek kétszer olyan gyorsan hullottak el, mint a normális pollenen élő társaik. Rosi-Marshall azt a következtetést vonta le, hogy a Bt-kukorica széles körű elterjedése negatív következményekkel járhat a helyi vadvilágra, és esetleg előre nem látható, a teljes ökoszisztémát érintő következményeket hozhat magával.

Michael Antoniu, a londoni Guy's Kórház nukleáris biológiával foglalkozó csapatának vezetője és az Egyesült Királyság kormányának génmódosított ételekkel foglalkozó egykor tanácsadója szerint a GM-technológiával kapcsolatos problémák középpontjában az előre nem látható következmények állnak. „A folyamat során igen magas a mutá-

ciók kialakulásának kockázata - nyilatkozta az *Observer*nek 2008-ban.

- Olyan változások is kialakulhatnak a génállományban, amelyekre eredetileg nem számítottak... Az így létrehozott növények látszólag úgy viselkednek, ahogyan előre elterveztek, a kérdés csak az, hogy vajon mi más változott meg a növény szerkezetében? Hiszen az sem kizárt, hogy időközben véletlenül mérgezővé vált."

Doug Parr, a Greenpeace vezető tudosa azt állítja, hogy ha a génmódosított növények kikerülnének a természetes környezetbe, nem tudnánk többé féken tartani őket. „A környezet szempontjából már az is problémát jelenthet, ha egyszerűen csak tesztelik őket.” Egyes környezetvédő csoportok válaszul a tettek mezejére léptek, és gyökerestüle tépték ki a tesztföldeken termesztett növényeket.

Bár egyértelmű tudományos bizonyíték még nem létezik mindenre vonatkozóan, az effaja reakcióban lehet némi igazság. Amikor mexikói vadon élő növényekben is kimutatták a Bt-kukorica génjeit, a szakértők azért is álltak érteletlenül ez előtt, mert ebben az országban minden genetikailag módosított kukorica ültetése tilos. A növény ugyanis eredetileg Mexikóból származik, ahol genetikai biodiverzitásnak megőrzése rendkívül fontos. Ha a GM-technológia által létrehozott szupergyomok és szuperkártevők mégis elérnék valahogy a vadon élő növényeket, akkor ennek az értékes gabonának a genetikai raktára talán örökre eltűnne.

Biotechnológia rendelésre

A génmódosított növények véletlenszerű megjelenése a természetes környezetben fontos figyelmeztetés, arra azonban továbbra sincs elelegendő bizonyíték, hogy ezek bármilyen kárt okoztak volna. A génmódosítás alapjául szolgáló technológia sokat fejlődött az elmúlt évtizedek során, és a DNS módosítása már nem az egyetlen lehetséges

módszer. Manapság a tudósok már a semmiből is képesek géneket és életformákat létrehozni.

Craig Venter úttörőnek számít ezen a területen. 2010-ben a világon először létrehozott egy mesterséges organizmust, amelynek alapja a kecskéknél tőgygyulladást okozó baktérium volt. Laboratóriumában kémiai alkotóelemekből állított elő géneket, majd beültette már létező baktériumokba, ezek aztán felhasználták működésükhez a szintetikus génallo-mányt. Venter szerint ez a technológia alkalmas lenne arra, hogy baktériumokat programozzunk be például környezetbarát bioüzemanyag előállítására, de akár arra is, hogy olajfoltokból vagy a légkörből fel-szívják a káros szennyeződéseket.

Egy hozzáértőnek valószínűleg az sem kerülne sok időbe, hogy a nyilvánosság számára is hozzáférhető genetikai információk alapján már létező vírusokat vagy baktériumokat szintetizáljon, vagy egy új, gyorsan terjedő kórokozót hozzon létre, amellyel szemben nincs kialakult immunitása az embernek vagy valamelyik nélkülvilágban élő növényfajtának. Ilyen vagy ehhez hasonló organizmusok megteremtése és rászabadítása a gyanútlan világra katasztrófális következményekkel járna.

Egy hozzáértőnek valószínűleg az sem kerülne sok időbe, hogy a nyilvánosság számára is hozzáférhető genetikai információk alapján már létező vírusokat vagy baktériumokat szintetizáljon, vagy egy új, gyorsan terjedő kórokozót hozzon létre, amellyel szemben nincs kialakult immunitása az embernek vagy valamelyik nélkülvilágban élő növényfajtának.

Első a biztonság

A potenciális veszélyekre nem megoldás az új géntechnológiák betiltása vagy semmibe vétele. A kulcs a megfigyelés és a szabályozás, de vajon működhet-e?

„Az emberiség története során az élő organizmusok iránt tanúsított viselkedésünk kevés reményt ad arra, hogy képesek vagyunk új életformákat kordában tartani” - állítja Arthur Caplan, a Pennsylvania Egyetem bioetikusa. Szerinte az emberek évszázadokon át új életformákat hurcoltak be olyan helyekre, ahol azután azok óriási problémákat okoztak. „A nyulak, a japán eredetű futónövény, a kudzu, a seregelyek, a japán cserebogarak, a kígyófejű halak, a himlő, a veszettség és a gyümölcslegyek csak néhány példája annak a rengeteg organizmusnak, amelyek óriási károkat okoztak az emberiségnek azzal, hogy olyan helyeken jelentek meg, ahol eredetileg semmi keresnivalójuk nem volt.”

A GM-technológia segítségével a tudósok biztonságos körülmények között akár olyan géneket is létrehozhatnak, amelyek gátolják egy növény szaporodását vagy növekedését, hacsak nem adnak hozzá bizonyos alapanyagokat. Sajnálatos módon ez egy másfajta manipuláció problémáját is felveti. Amikor a Monsanto hasonló dolgot tett, és ki-fejlesztette a „terminátorgéneket” tartalmazó génmódosított magjait, azzal vádolták meg, hogy a szegény gazdálkodókat akarják rabszolgásorba taszítani, akiknek így minden évben újabb magokat kell vásárolniuk a multinacionális nagyvállalattól.

Felmerült annak az ötlete is, hogy olyan szintetikus életformákat lehetne létrehozni, amelyek a természetes organizmusuktól eltérő aminosavakból épülnek fel, így a vadvilágban megkülönböztethetővé válnának és nem tudnának keveredni a természetes fajokkal.

Teljes mértékben betiltani a technológiát vagy újabb moratóriumokat bevezetni ellene nem vezet seholvá. A génmódosítás kapcsán felmerült veszélyekre a megoldást csakis maga a biotechnológia adhatja. A kellemetlen meglepetések elkerüléséért jobban tesszük, ha lépést tartunk a tudomány fejlődésével és lehetőségeivel, így az esetlegesen felmerülő apokaliptikus problémákkal könnyebb lesz megküzdenünk.

2087-et írunk, amikor Alaszka partjainál hatalmas olajfoltot észlelünk az óceán felszínén. Egy nyersolajat szálító tartályhajó zátonyra futott a part közelében, és több milliárd liter olaj szivárog az óceánba, környezeti katasztrófával fenyegetve a vidéket. Szerencsére a hatóságok rendelkezésére áll egy kipróbált és jól bevált fegyver az olajfolt ellen: parányi olajzabáló robotok raja, amelyek képesek lebontani a szénhidrogéneket, ezzel ártalmatlanná téve az olajfoltot.

Nanotechnológiai katasztrófa

zek az emberi hajszál keresztmetszeténél alig nagyobb gépek képesek menet közben saját másolataikat létrehozni, hogy bármekkora méretű olajfolt eltakarításához elegendően legyenek.

Ezúttal azonban, amikor a robotokat a szennyeződésre bocsátják, valami váratlan doleg történik. Egyikük programja meghibásodik, és ahelyett, hogy csak a szénhidrogéneket fogyasztaná el, a gépecske fell-fal minden, ami szenet tartalmaz. Más szóval nekilát, hogy a táplálékául szolgáló olaj mellett elpusztítson más élőlényeket is. Nem kell

sok időnek eltelnie ahhoz, hogy ez a robot elszaporodjon és minden felzabáljon a bolygónkon. Az általunk ismert élet pedig eltűnik a Föld színéről.

Vajon ez csak egy rémálom?

Az önmaguk másolására képes robotok hatására bekövetkező világvége ötletét először Eric Drexler vetette fel 1986-ban megjelent *Engines of Creation* (A teremtés gépezetei) című könyvében.

Ebben Drexler elsősorban arról ír, milyen nagyszerű lehetőségeket és előnyöket rejt a világ nanoszintű megfigyelése, de valami sokkal fehelyegetőbb dologra is felhívja a figyelmet. Szerinte a mai napelemekhez hasonlóan hatékony mesterséges növények levelei képesek felülmúlni a valódi növényeket, és ehetetlen lombozattal elárasztani a bioszférát. „A szívós, minden felfaló, mesterségesen létrehozott baktériumok kiszoríthatják a valódiakat: a virágporhoz hasonlóan terjednének el, gyorsan szaporodnának, és pár nap leforgása alatt homogén porrá alkítanák át a teljes bioszférát. Könnyen előfordulhat, hogy a veszélyes replikátorok olyan szívósak, aprók és gyorsan terjednek, hogy képtelenek leszünk megállítani őket - legalábbis ha nem készülünk fel időben erre a lehetőségre. Épp elég gondunk van a természetes vírusok és gyümölcslegyek visszaszorításával.”

Végül az egész Föld jellegtelen szürke iszappá alakulna át, hiszen ezek az apró robotok minden atomot önmaguk másolatának létrehozására használnának fel. A sci-fi írók azonnal ráharaptak az ötletre, például Michael Crichton *Préda (Prey)*⁴ című művében is ilyen nanorobotok szabadulnak el. Még Martin Rees, az Egyesült Királyság királyi csillagásza és a Királyi Természettudományos Társaság korábbi elnöke is felhívta rájuk a figyelmet, mint az emberiség kipusztulásának lehetőséges okozóira.

A Drexler által ábrázolt rémáлом megvalósulása nem venne sok időt igénybe. „Képzeljük el, ahogy egy ilyen replikátor egy üveg vegyszerben úszkálva másolatokat készít önmagáról... Az első példány 1000 másodperc alatt képes összerakni saját kópiáját, a két példány újabb 1000 másodperc alatt két újabb darabot épít meg, az így létrejövő négy darab már újabb négyet gyárt le, a nyolc példány pedig újabb nyolcat épít - fejti ki Drexler. - Tíz óra elteltével nem egyszerűen 36, hanem 68 milliárd újabb replikátorunk lesz. Alig egy nap alatt össztömegük elérné az 1 tonnát, két nap múlva pedig a Földét is meghaladná, újabb négy óra elteltével a Nap és az összes bolygó együttes tömegénél is nehezebbek lennének - ha az üvegen lévő vegyszer mennyisége nem fogyott volna el már régen.”

Mi is a nanotechnológia?

A Drexler által felvázolt kép elég riasztó. 2003-ban a *Nature* egyik vezér cikke arról elmélkedett, vajon eredendően veszélyes dolog-e a nanotechnológia, hiszen e gyorsan fejlődő és szerteágazó tudományág szabályozását sürgető hangok azt sugallják, hogy ez így van. Ennek hatására a hatóságok is úgy ítélték meg, hogy a nanotechnológia általános nyugtalanság forrása lehet a társadalomban, és „hogy a kialakuló vita megfelelő információk híján hamar indulatoktól terhessé válhat".

Ugyanebben az évben a Királyi Természettudományos Társaság és a Királyi Műszaki Akadémia (Royal Academy of Engineering) vizsgálatot indított a nanotechnológia lehetséges előnyeinek és kockázatainak

Alig egy nap alatt össztömegük elérné az 1 tonnát, két nap múlva pedig a Földét is meghaladná, újabb négy óra elteltével a Nap és az összes bolygó együttes tömegénél is nehezebbek lennének.

felderítésére, miután a felmerült aggályok miatt felkereste őket Károly herceg.

A Királyi Természettudományos Társaság kutatása kapcsán az Egyesült Királyság akkori tudományos és fejlesztési minisztere, Dávid Sainsbury is elismerte a kitűzött feladat nehézségét: „A nanotechnológia óriási területet fedhet le. Kicsit arra emlékeztet ez a helyzet, mintha az első számítógépek megjelenésének idején bizottságot állítottak volna fel, hogy megállapítsák, milyen hatással lesznek a világra a jövőben a számítógépek és az információtechnológia. A távoli jövőre vonatkozó előrejelzések meglehetősen korlátozottak.”

Feynman felhívása

Érdemes kissé visszamennünk az időben és megnéznünk, mi is valójában a nanotechnológia. 1959 decemberében Richárd Feynman, a kiváló fizikus előadást tartott az Amerikai Fizikai Társaság (American Physical Society, APS) tagjainak „Rengeteg hely van még odalent” címmel. Többek között arról beszélt, hogyan férhetne el az *Encyclopaedia Britannica* mind a 24 kötete egy gombostű fején, és kiszámolta, hogy a világ összes könyve beleférne egy 0,127 mm oldalú kockába, hogy ha 1 és 0 számok sorozataként kódolnánk a bennük lévő információt, akár csak a számítógépek esetében. „A számítógépek hatalmasak, termeket töltenek be. Miért ne csinálhatnánk őket nagyon kicsire, apró elemek és nagyon vékony vezetékek felhasználásával - és amikor azt mondjam kicsi, akkor tényleg nagyon apróra gondolok.”

Előadását egy felhívással fejezte be: „Szándékomban áll felajánlani 1000 dollárt annak, aki először készít el egy 0,4 mm oldalú kockánál kisebb méretű működő elektromotort.”

Részben ezzel kezdődött el a nanotechnológia története: az egyes atomok és molekulák újrarendezésével létrehozott lehető legkisebb

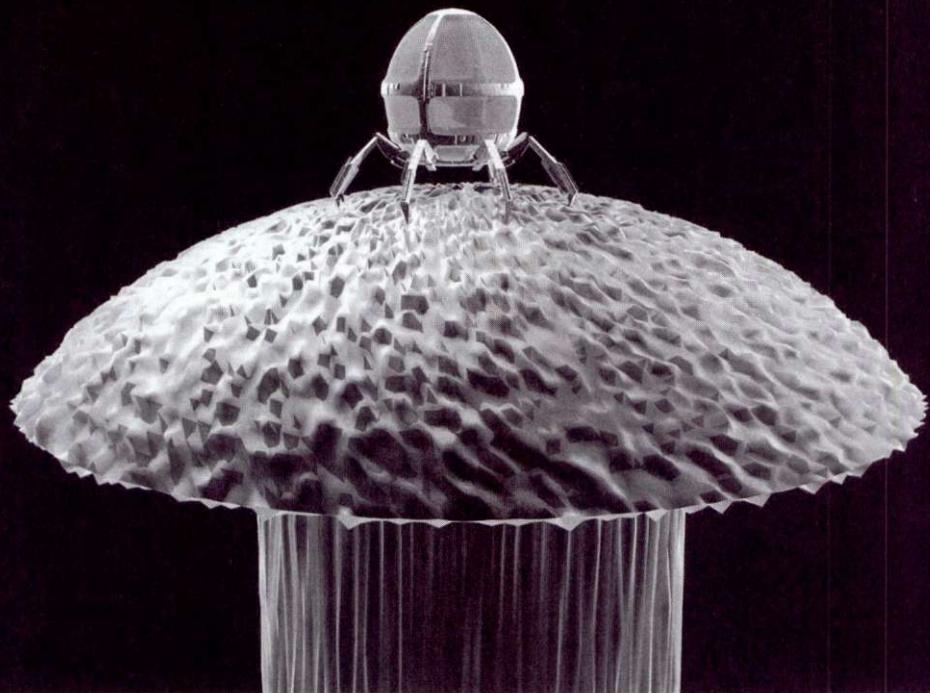
számítógépek és gépek elkészítésével. Ennek a miniatürizálási vágy-nak az egyik eredménye a mai számítógépeken található körömnnyi mikrocsip, amely több százmillió tranzisztor tartalmaz, és vezetékei 80 nanométer vastagságúak.

Nem is gondolta volna senki, hogy a modern nanotechnológia mi-lyen változatos területeken jelent meg azóta. Olyan egymástól távolálló ágakat érint, mint az orvostudomány, az úrkutatás és a telekommuni-káció. A nano- előtagot használó kutatók talán minden olyan tárgyakkal dolgoznak, amelyek átmérője nem nagyobb 1 mm milliomodrészénél, mégis nagyon eltérő dolgokról beszélünk: a természetben soha nem látott anyagokat készítenek, baktériumokban található molekuláris „gépezeteket” állítanak be, vagy egyszerűen csak azt kutatják, milyen alapvető fizikai törvények működnek a rendkívül kisméretű szinteken.

A kezdeti lelkesedés ellenére azonban maguk a nanorobotok végül nem váltak valódi kutatási területté. A miniatűr robotok gyártásához talán az az ember jutott a legközelebb, aki végül el is nyerte a Feynman által felajánlott 1000 dolláros díjat: Bili McLellan, a Kaliforniai Műsza-ki Egyetem (Caltech) ösztöndíjas tudosa, aki az 1960-as évek elején öt hónapot töltött egy olyan motor megépítésével, amelynek átmérője 0,5 mm-nél is kisebb, vezetékei pedig 1/80-ad mm átmérőjűek, a haj-szálnál is vékonyabbak voltak. Mindezt azonban még nem nevezhet-tük nanotechnológiának, inkább csak mikrotechnológiának; a motor ráadásul pár használat után tönkre is ment.

Mi a helyzet a szürke iszappal?

2004-ben Drexler megpróbálta a nyilvánosság előtt visszavonni saját meglehetősen vészjósló figyelmeztetéseit. „Bárcsak soha ne használ-tam volna a szürke iszap kifejezést” - mesélte a *Nature* magazinnak,



A sci-fi történetek alapján kb. így nézne ki egy nanorobot. Itt éppen egy gombostű fején ül és a képen nem látható apró tü segítségével készül beinjekciózni rakományát.

hozzátéve, hogy ha újraírhatná az *Engines of Creation*öt, alig említené az önmagukat másoló nanorobotokat.

Kijelentése összhangban volt az első molekuláris nanotechnológiával, a texasi Zyvex egyik kutatójának számításaival. Róbert A. Freitas Jr. megvizsgálta, milyen feltételeknek kellene teljesülniük, hogy Drexler ötlete megvalósuljon. Felmérte, hogy amennyiben léteznének, milyen gyorsan tudnák önmagukat lemásolni a nanorobotok, illetve mennyi energiára lenne mindehhez szükségük úgy, hogy közben ne lehessen kinyomozni és leállítani őket.

2000-ben publikált kutatásának eredményei szerint a Drexler által leírt gyorsan replikálódó robotoknak nagyon sok energiára lenne szükségük, miközben nagyon sok hót is termelnének, így a rendfenntartó

hatóságok könnyen felderíthetnék őket, és egyszerűen megszüntetnék a fenyegést.

Ha a nanogépek elsősorban alumíniumot, titánt és bort tartalmazó ásványokból készülnének, az élő szervezetek egyébként sem esnének áldozatául a pusztításnak, mivel ezekből a fémekből milliószor nagyobb mennyiség található a földkéregben, mint az élőlényekben. A gépek egyszerűen szétbányásznak a bolygót ahelyett, hogy minket ölnének meg.

A teljesítmény kérdése sem elhanyagolható. „A jelenlegi nanogépek modelljeinek hőfogyasztása jellemzően $105\text{-}109 \text{ W/m}^3$ nagyságrendű, hogy a kívánt hatásfokon működjenek - írta Freitas. - A biológiai rendszerekre általában a $102\text{-}106 \text{ W/m}^3$ érték jellemző. A napenergia nehezen hozzáférhető a felszín alatt, az átlagos geotermikus hőáramlás pedig $0,05 \text{ W/m}^2$ a felszínen, ami csak apró töredéke a napfény hatásának.”

A Királyi Természettudományos Társaság 2004-es jelentéses szintén rácáfolt azokra a hiedelmekre, miszerint a nanorobotok képesek lennének olyan számban elszaporodni, ami elpusztíthatná az életet. A szakértők azonban számos egyéb, jóval aggasztóbb problémát találtak a nanotechnológiai iparág által gyártott, alig érzékelhetően apró részecskék egészségre gyakorolt lehetséges hatásait illetően. Előállításuk során fémeket vagy egyéb anyagokat őrlnek rendkívül finom szemcsékké - például a fényvédő krémekben is nanorészecskék szívják magukba és tükrözik vissza az UV sugarakat, miközben szabad szemmel átlátszónak túnnek.

Ann Dowling, a Cambridge-i Egyetem professzora, aki a jelentést elkészítő csoport vezetője volt, azt állította: „Az apró részecskék esetében igenis számít a méret. Ugyanannak az anyagnak a nanorészecskéi egészen másképp viselkedhetnek, mint a nagyobb egységei. Néhány esetben bizonyítást nyert, hogy ugyanabból a vegyszerből előállított nanorészecskék sokkal mérgezőbbek, mint az eredeti anyag, de az esetek többségében egyszerűen fogalmunk sincs. Nem tudjuk, milyen hatás-sal lennének az emberekre vagy a környezetünkre.”

A tudósok arra figyelmeztetnek, hogy ezek a részecskék belélegezhetők, illetve a bőrön keresztül is képesek felszívódni. A gépjárművek által kibocsátott szennyeződéssel már így is nanorészecskék millióit lelegettük be nap mint nap, ami összefüggésbe hozható bizonyos szív- és légüti megbetegedésekkel. A nanotechnológia ipari felhasználásának elterjedésével a szakértők attól tartanak, hogy egyre jobban kitesszük magunkat ezeknek a levegőben is megjelenő veszélyeknek.

Önreplikátorok

Az önmaguk lemásolására képes gépek ötlete igazán soha sem merült feledésbe a nanotechnológián belül. Ahelyett azonban, hogy a semmiből építenének ilyen replikátorokat, ahogyan azt Drexler az 1980-as években megjósolta, a mai tudósok a természethez fordulnak segítségért.

Amikor Freitas a kutatásait végezte, egy másik tudós a New York állambeli Cornell Egyetemen apró nikkelpropellerrel szerelt fel egy ún. biológiai motort, amelynek üzemanyaga az emberi sejtekben is megtalálható ATP-molekula. Ez a nagyjából 10 nanométer átmérőjű molekula ötvenezerszer kisebb McLellan parányi motorjánál. A jövő nanotechnológiája inkább a már létező molekulák felhasználásának irányába fog fejlődni ahelyett, hogy a semmiből, atomról atomra próbálna létrehozni valamit. Ennek azonban megvannak a lehetséges veszélyei.

„Az egyik legkitartóbb mítoszunk az, hogy egy velejéig gonosz személy egyszer csak a legkomplexebb technológiát választja rossz szándékainak kifejezésére - írta Philip Ball író, újságíró a *Nature Materials*ban megjelent cikkében, keseregve a nanotechnológia ellenzőinek rémisztégetésre épülő taktikája felett. - Az életre veszélyt jelentő replikátorokra van szükségük? Elegendő néhány himlővírust szabadon engedni, hiszen ezek tulajdonképpen jelenleg is létező nanorobotok.”

Mind ismerjük a tudományos-fantasztikus irodalomból a világuralomra törő szuperszámítógép ötletét. Az eredetileg az emberek életének jobbá tételere programozott gép egyszer csak felismeri saját képességeinek és technológiájának felsőbbrendűségét a közönséges, hús-vér életformák felett, a katasztrófa kitörése pedig már csak idő kérdése.

Mesterséges szuperintelligencia

z a jövőkép meglehetősen ijesztőnek tűnhet, de egyelőre nem sok esély van a megvalósulására. A modern számítógépek még egy gyerék gondolkodásának komplexitását sem közelítik meg. A mai robotok kellően fejlettek lehetnek egy autó összeszereléséhez vagy egy bonyolult műtét támogatásához, de végül mégiscsak egyszerű automaták.

Ne becsüljük alá azonban a fejlődésben rejlő lehetőségeket. Nem sok időbe telik, míg meghaladjuk saját technológiai korlátainkat, és egy olyan világban találjuk magunkat, ahol a gépek valódi kihívást jelentenek számunkra az intelligencia terén. „Egy nap ez is bekövetkezhet” - mondja Douglas Hofstadter, a bloomingtoni Indiana Egyetem munkatársa, a mentális folyamatok számítógépes modellezésének

szakértője. Állítása szerint minden igen komoly következményekkel járna, hiszen a bolygó élőlényei közül többé nem az ember lenne a leg-

Ezek a gépek - a mi „gyerekeink” - bizonyos mértékig talán még hasonlítanának is ránk, és a miénkhez hasonló kultúrával rendelkeznének, de ez nem valószínű.

Minden esetben, ha ez mégis bekövetkezne, mi, emberek követhetnénk a dinoszauruszokat a sorban."

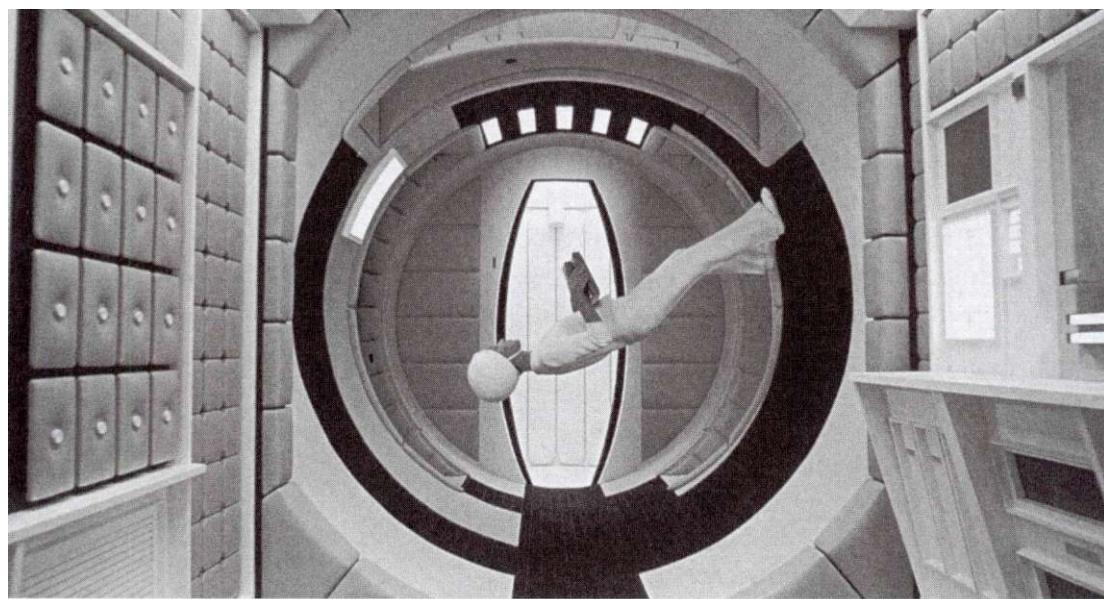
fejlettebb. „Ezek a gépek - a mi »gyerekeink« - bizonyos mértékig talán még hasonlítanának is ránk, és a miénkhez hasonló kultúrával rendelkeznének, de ez nem valószínű.

A szuperintelligencia problémája

Az intelligencia azon sajátságosan emberi tulajdonságok egyike, amelyet nemcsak definiálni, de megérteni is igen nehéz. A memória kapacitásáról lenne szó? Vagy a fejlődés képességéről? Talán arról a képességünkéről, ahogy párhuzamosan több, akár egymásnak ellentmondó forrásból tájékozódva következtetéseket tudunk levonni, éppen úgy, ahogyan például egy tizenéves képes egyszerre beszélgetni, SMS-ezni, tévét nézni és szörfölni az interneten?

A pontos definíció hiánya azonban nem akadályozta meg a mérnököket és programozókat abban, hogy a gépeknél is megpróbálják megalkotni az intelligencia egyes megjelenési formáit. Erőfeszítések mindnyájunk hasznára váltak, hiszen ezeknek köszönhetjük például az olcsó, gyors számítógépeket és az okos szoftvereket, amelyek elektromos hálózatainkat vagy a közlekedési lámpákat irányítják, és szervezik életünk számos területét.

Az emberekkel összehasonlítva azonban még a legfejlettebb gépeket sem lehetne intelligensnek nevezni. Léteznek ugyan olyan robotok, amelyek képesek alapvető érzelmeket utánozni, és (majdnem) valódi



Stanley Kubrick 2001: *Úrodüsszeia* című filmjében a Discovery űrhajó felett átveszi az irányítást a látszólag ellenséges Hal 9000 szuperszámítógép, amely azt gondolja, hogy küldetése teljesítéséhez felesleges az emberi irányítás.

társalgásra képesek, de a szó szoros értelmében vett mesterséges intelligenciára a legjobb esetben is még évtizedeket kell várnunk. Arra pedig még ennél is később kerülhet sor, hogy valódi veszélyt jelenten számunkra.

Természetesen úgy is meg lehet közelíteni a kérdést, hogy az igazi mesterséges intelligencia megjelenése már csak idő kérdése. A számítástechnika és a robotirányítás kifinomultsága és feldolgozási teljesítménye évente nagyjából megduplázódik. „Már korántsem a gerincesek komplexitásának alacsonyabb tartományaiban járnak, hanem kb. fél évszázadon belül utolérnek bennünket - állítja Hans Moravec, a Carnegie Mellon Egyetem robotika tanszékének egyik alapítója. - Véleményem szerint 2050-re

Ezek az intelligens gépek tőlünk fognak tanulni, átveszik tudásunkat, osztognak céljainkban és értékrendünkben; tulajdonképpen olyanok lesznek, mint a mentális gyerekeink.

már létezni fognak olyan robotok, amelyek az emberéhez hasonló mentális képességekkel rendelkeznek, mint például az absztrakció és az általánosítás. Ezek az intelligens gépek tőlünk fognak tanulni, átveszik tudásunkat, osztognak céljainkban és értékrendünkben, tulajdonképpen olyanok lesznek, mint a mentális gyerekeink. Ezek a robotok nemcsak gondoskodni fognak rólunk az otthonainkban, de olyan bonyolult feladatokat is rájuk lehet majd bízni, amelyek jelenleg emberi részvétel nélkül kivitelezhetetlenek, mint például a betegségek diagnosztizálása és a terápiák, gyógymódok meghatározása. Ok lesznek az örököseink és az egyetlen esélyünk a halhatatlanságra azáltal, hogy ezekre a fejlett számítógépekre feltölthetjük majd a teljes személyiségünket."

Az egyre intelligensebb gépek megépítéséhez az egyik út az ember működésének lemasolása. Az emberi agy és idegrendszer az általunk ismert legösszetettebb és legintelligensebb szerkezet. Az elmúlt évtizedek során rengeteget fejlődtek az ezt tanulmányozó és a lemasolásával foglalkozó tudományok. „Már ez alatt a rövid idő alatt is lényeges előrelépés történt ezen a területen - mondja Nick Bostrom filozófus, az Oxfordi Egyetem Az Emberiség Jövője Intézetének (Future of Humanity Institute) igazgatója. - Még csak most kezdjük megérteni a korai érzékelési folyamatokat. Meglehetősen pontos számítási modellekkel rendelkezünk az elsődleges látókéreg működését illetően, és lassan, de biztosan egyre magasabb szintjeit értjük meg a vizuális észlelés folyamatának. Azt vizsgáljuk, hogy milyen alapvető tanulási algoritmusok segítségével képes a tapasztalat módosítani a már kialakult szinapszisok erősségét. Jelenleg az idegsejthálózatunk általános felépítésének feltérképezése zajlik, miközben egyre jobban megismерjük a neuronok közti kapcsolódásokat és azt, hogy a különböző kéregterületek hogyan vetülnek ki egymásra. Bár még mindig nagyon messze vagyunk attól, hogy teljességeiben megértsük a magasabb szintű gondolkodási folyamatokat, kezdjük egyre jobban megismerni az egyes alkotóelemek működését és egymással való kapcsolódását.”

A pusztá feldolgozási teljesítményen túl a kutatók több emberi tulajdonsággal is igyekeznek felruházni a robotokat: a mesterséges öntudat például hozzásegítheti a gépeket ahhoz, hogy megértsék a helyüket a világban és ennek megfelelően viselkedjenek, például felismerjék, hogy mi előnyös, vagy mi jelent veszélyt számukra és a felhasználóikra.

A mesterséges érzelmek kifejlesztése szintén elősegítheti, hogy sokkal természetesebben és könnyebben tudjunk kommunikálni a gépekkel. A Hertfordshire-i Egyetem kutatói arra programoztak be egy robotot, hogy attól függően, hogy az emberek miként bánnak vele, különböző érzelmeket fejezzen ki. A robot a szemeként szolgáló kamérák segítségével leolvassa az emberek testtartását, gesztusait és mozsdulatait. Ezzel egyelőre egy egyéves gyermek érzelmi fejlettségét tudja utánozni, bizonyos emberi jelzéseket képes felismerni, értelmezni és megfelelően reagál ezekre. Idegi hálózata alkalmas arra, hogy megjegyezzen különböző arckifejezéseket és azt, hogy azok mit jelentenek, valamint a helyi környezet tanulmányozása alapján megtanulja alapjaiban megkülönböztetni a jót a rossztól. Lehetővé teszi, hogy a robot megértse, hogy ami körülötte történik, az boldogságot, szomorúságot vagy féleelmet jelent-e.

Különböző személyiségeket is bele lehet programozni - egy önállóbb robot kisebb valószínűséggel fog emberi segítségért folyamodni egy helyiség felfedezése során, míg egy kevésbé magabiztos, félénk robot a szorongás jeleit fogja mutatni, ha ugyanebben a térben olyan dologgal találja szembe magát, ami potenciálisan fenyegető vagy ismeretlen a számára.

A mesterséges intelligencia létrehozásának következményei

Ha Moravec állítása igaz, és a gépek a XXI. század közepére elérik az emberi intelligencia szintjét, vajon milyen következményekkel fog ez

járni? A *Futures* számára írt esszéjében Bostrom kifejtett néhány lehetőséges következményt. Először is arra mutatott rá, hogy a mesterségesen létrehozott elmék könnyen soksorosíthatók lesznek. „Az első mesterséges intelligencia megépítését követően egy újabb példány létrehozásának a marginális költségei, a hardverköltségeket nem számítva, igen alacsonyak lesznek. Ez azt jelenti, hogy igen rövid idő alatt óriási mennyiség fog megjelenni belőlük, megsokszorozva ezzel a kezdeti áttörés hatásait.”

Nem sokkal azt követően, hogy a gépek elérik az emberi intelligencia szintjét, megjelennek azok a számítógépek is, amelyek értelmi képességeikben messze meg is fogják haladni az emberi gondolkodást. „14 évvel azután, hogy az emberi intelligencia mesterséges úton is előállíthatóvá válik, olyan gépekkel találjuk szembe magunkat, amelyek akár százszor gyorsabban gondolkoznak az embernél - állítja Bostrom. - A valóságban ez a fejlődés még ennél is gyorsabban végigmehet, mivel a gépek szoftvereinek hatékonyságát valószínűleg több párhuzamos fejlesztés is tovább fogja növelni. Várhatóan igen rövid lesz az az időszak, amikor az ember és a gépek intelligenciája nagyjából azonos szinten áll. Kevéssel ezután viszont az emberek már képtelenek lesznek intellektuálisan versenyre kelni a mesterséges intelligenciákkal.”

Ez akár óriási előnyöket is jelenthet számunkra, hiszen ezek a szuperiszámítógépek majd könnyedén hozzáférhetnek hatalmas mennyiségi adatokhoz, és az eddiginél is hatékonyabban gyorsíthatják fel a technológiai és tudományos fejlődést. Kapacitásuk egy részét pedig minden bizonnal arra fordítják, hogy a gépek újabb, még okosabb generációit hozzák létre. Néhány jövőkutató szerint ez a pozitív vissza-csatolási hurok (positive-feedback loop) az ún. *technológiai szingularitás* jelenségehez vezethet, vagyis a fejlődés egy ponton annyira felgyorsul, hogy Bostrom szerint „egyszer csak létrejön az egyszerű halandók számára felfoghatatlan képességekkel rendelkező valódi szuperintelligencia”.

Hogyan tudnánk megjósolni, hogy egy ilyen intelligencia megjelenése az emberi faj számára előnyös lesz-e vagy sem? Vajon segíteni fog-e, hogy megszabadulunk a szegénységtől és a betegségektől? Esetleg úgy dönt, hogy az emberiség csak az erőforrásokat pazarolja és kiirt bennünket? Mindez a programozáson áll vagy bukik. „Az első szuperintelligens entitás létrehozásakor elkövethetjük azt a hibát, hogy olyan célokat határozunk meg a számára, amelyek akár az emberiség megsemmisítéséhez is vezethetnek, feltéve persze, hogy óriási intellektuális előnye felhalmazza erre - folytatja Bostrom. - Például tévedésből kiemelhetünk egy mellékес célt legfőbb feladattá. Megbízzuk, hogy oldjon meg egy matematikai feladványt, mire az eredmény kiszámításához a Naprendszerben található összes anyag felhasználásával létrehoz egy gigantikus számítógépet, ezzel megsemmisítve többek között magát a kérdés feltevőjét is.”

Tekintve a lehetséges katasztrófális következményeket, elengedhetetlennek tűnik a kellő biztonsági óvintézkedések bevezetése, nehogy a gépek ártani tudjanak az embereknek vagy annál is rettentetesebb dolog történjen. „Bármilyen mesterséges intelligencia megépítésével párhuzamosan foglalkozni kell a gép létrehozásának etikai kérdéseivel is - mondja Igor Alekszander, a londoni Imperial College neurális rendszerek tervezésével foglalkozó nyugalmazott egyetemi tanára. - Milyen feladatok megoldására tervezik azt a gépet? Milyen kikötések mellett fogja azt elvégezni? Milyen feltételek fennállása esetén okozhat kárt?”

Alekszander hozzáteszi, hogy mindezek elsősorban mérnöki problémák és kevésbé etikai dilemmák. „Egy megfelelően működő, öntudattal rendelkező gép vezetheti az autónkat, méghozzá a legnagyobb biztonsággal. Nagyon elégedett lesz, ha ezt jól csinálja, és aggasztani fogja, ha például balesetet okoz. Amennyiben hirtelen úgy döntene, hogy nekihajt egy falnak és megöli az utasát, az működési hiba lenne. Az embereknél is előfordul effajta meghibásodás. Ok az ilyen esetekre

hozták létre a törvényeket, a gépeknél pedig a tervezési folyamatok hivatottak az efféle problémák elkerülésére."

A tudományos-fantasztikus író, Vernor Vinge elképzelte, milyen lenne a Föld egy szuperintelligens számítógép megjelenését követően. „Tegyük fel, hogy a technológiai szingularitás sem elkerülhető, sem korlátozható nem lenne! Vajon mennyire lesz borzalmas az emberiség utáni korszak? Nos, hát... elég riasztónak tűnik."

Vinge szerint az emberi faj fizikai értelemben vett kipusztulása csak egy a sok lehetőség közül, de messze nem a legszörnyűbb. „Gondoljunk bele, hányféléképpen viszonyulunk mi, emberek az állatokhoz. Az, hogy a gépek durva fizikai erőszakot alkalmaznának rajtunk, elég valószínűtlennek tűnik, legalábbis egyelőre... Az emberiséget követő korban a világban rengeteg olyan hely lesz, ahol az emberhez hasonló automatizált lényekre lesz szükség, önálló akaratú eszközökbe beépített rendszerekre, nagyobb érzékelőképességű, de kisebb hatáskörű öntudatos démonokra."

Vinge hozzáteszi még: „Ezek egy része a digitális jelfeldolgozáson kívül semmirre nem lesz alkalmas, ebben inkább fognak emlékeztetni a bálnáakra, mint az emberekre. Mások nagyon is emberszerűek lesznek, de olyan beszűkült tudattal, amivel ma elmegyogyintézetbe zárnák őket. Bár egyik ilyen teremtmény sem lesz már hűs-vér ember, ebben az új környezetben ők fognak a legközelebb állni mindenhez, amit mi emberinek nevezünk.”

Előfordulhat mindez?

Némi megkönnyebbülést jelenthet, ha tudjuk, hogy nem mindenki eny nyire pesszimista. A technológiai hatalomátvétel potenciális veszélyei ről szóló beszélgetésen Steven Pinker nyelvész és pszichológus arról beszélt az amerikai Elektromos és Elektronikus Mérnöki Intézet (US

Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) tagjai előtt, hogy „a leghalványabb okunk sincs feltételezni, hogy egy effajta szingularitás bekövetkezhet. Az, hogy a képzeletünkben meg tud jelenni egy lehetséges jövőkép, még nem bizonyíték arra nézve, hogy annak bekövetkezése valószínű vagy akár feltételezhető lenne. A kupolával fedett városok, a repülés sugárhajtású hártyások segítségével, a víz alatti városok, a több kilométer magas épületek és az atomhajtású autók minden gyerekkorom futurista fantáziáinak példái, amelyek végül soha nem valósultak meg. A pusztai feldolgozási teljesítmény még nem tünderpor, ami egy csapásra megoldja minden problémánkat.”

Arról sem rendelkezünk azonban kellő bizonyítékokkal, hogy minden nem lehetséges. John Casti, az ausztriai Nemzetközi Alkalmazott Rendszerelmezési Intézet (International Institute for Applied Systems Analysis, HASA) munkatársa szerint a technológiai szingularitás tudományos szempontból elképzelhető vékifejelet, a kérdés csak az, hogy mennyi idő alatt alakulhatna ki. Mindez természetesen a Föld domináns fajának, a *Homo sapiens* uralkodásának a végét jelentené. „Ezen a ponton egy új faj fog megjelenni, az emberek és a gépek külön utakon fejlődnek tovább, és soha nem keverednek egymással - mondta Casti az IEEE tagjainak tartott előadásában. - Nem hinném, hogy ez szükségszerűen egy rosszindulatú számítógép hatalomátvételéről szólna, inkább arról, hogy a gépeket egyre kevésbé fogják érdekelni az emberek szempontjai, mint ahogy minket sem érdekelnek túlzottan a hangyáké vagy a méheké. Véleményem szerint azonban nagyobb a valószínűsége annak, hogy a két faj kényelmesen és többé-kevésbé békésen fog egymás mellett létezni - legalábbis addig, amíg az emberek érdekei nem sértik a gépekét.”

Az emberiség évezredek óta készít olyan eszközöket, amelyekkel jobbá, boldogabbá és még eredményesebbé teheti az életet. Eljön az idő, amikor újításaink jóval meghaladják mindazt, amit még természetesnek tartunk, és olyan fejlett képességekkel rendelkező egyének jelennek meg, akiket többé már aligha nevezhetünk emberinek. Vajon felkészültünk mindenre?

Transzhumanizmus

z elmúlt évszázad egyik legfontosabb előrelépése az orvostudomány területén megszerzett tudásunk volt. Hatékonyabb gyógyszerek, egyre speciálisabb orvosi eszközök és egyre kifinomultabb ismeretek arról, hogy mi is történik a testünkben sejtszinten, amikor megbetegszünk - mindezek segítenek kigyógyulni a kórokból és általuk hosszabb, egészségesebb életet élhetünk.

Ezzel párhuzamosan az elmúlt fél évszázad alatt rendkívüli fejlődés ment vége az informatika és a digitális technológiák területén, aminek egyik eredménye a mai, hálózatokkal átszűrt világunk. Az internet segítségével manapság szinte bármilyen információhoz hozzájuthatunk egyetlen mozdulattal.

A tudásnak ez a két párhuzamos ága több ponton is kapcsolódik - a számítástechnika elengedhetetlen eszköze az alapvető biológiai kutatóknak és az orvosi műszerek működtetésének -, de vajon integrálha-

tő-e ez a két terület annyira szorosan, hogy általuk egy fejlettebb emberi lényt hozzunk létre? A jövő generációi például végtelen memóriával rendelkezhetnek a beültetett csipek segítségével. Hálózattal összekapcsolt agyuk segítségével pedig még az ujjukat sem kell majd mozdítaniuk, hogy hozzáérjenek a világ minden információjához. És amiről mostanáig álmودni sem mertünk, az orvosi áttöréseknek köszönhetően ezek a fejlettebb emberi lények akár 100 (vagy 1000) évig élhetnének. Olyan biztatónan hangzik minden - mégis, mi rossz lehet benne?

A transzhumanista kiáltvány

A humanisták abban hisznek, hogy az ember a legfontosabb: annak ellenére, hogy mint faj nem vagyunk tökéletesek, sok mindenek képesek vagyunk változtatni a szabadság, a tolerancia, a racionális gondolkodás és mindenekfelett a többi emberrel való törődés által. A magukat transzhumanistának valló emberek mindezzel egyetértenek, de azt is hangsúlyozzák, hogy az embernek, akár a természetes korlátait is meghaladva, tovább kell fejlődni. „Ahhoz hasonlóan, ahogyan észszerű eszközök bevetésével próbálunk javítani a körülményeinken és a külvilágban, ugyanezeket akár saját magunkon, a saját testünkön is alkalmazhatjuk - mondja Nick Bostrom filozófus, a transzhumanista gondolkodás szószólója. - Mindez nem korlátozzuk a hagyományos humanista eszközökre, mint például az oktatásra és a kulturális fejlődésre, hanem támogatjuk az olyan technológiák alkalmazását is, amelyekkel végül akár túl is léphetünk mindazon, amire többnyire úgy gondolunk, mint emberire.”

A Bostrom által említett világ úgy is ismert a transzhumanisták köreiben, mint a „poszthumán korszak”. Ez nem arra utal, hogy az emberek addigra már nem fognak létezni, hanem hogy az akkor élő lények alapvető képességeikben és vágyaikban olyan radikális mértékben

fognak eltérni a modern ember elképzéléseitől, hogy már teljesen felismerhetetlenné válnak számunkra.

A transzhumanisták olyan intellektuális magasságokba szeretnének eljutni, ami ma még elképzelhetetlen - mindenben legalább anynyira különbözne tőlünk a jövő embere, mint amennyire a mai ember különbözik más főemlősöktől. Korlátlan ifjúságra és egészséges életre vágnak és arra, hogy irányítani tudják saját vágyaikat és hangulataikat, például ne érezzenek fáradtságot vagy idegességet, de az örööm, a szeretet és a művészet elvezetének érzését bármikor fel tudják idézni. Olyan tudatállapotokat is szeretnének megtapasztalni, amelyek a mai modern emberi elme számára hozzáférhetetlenek. „Valószínűnek tartom, hogy a korlátlanul hosszú, egészséges és aktív élet igérete bárkit a poszthumanizmus hívévé tenne, ha minden råadásul az emlékek, a képességek és az intelligencia megtartásával is együtt járna” - mondja Bostrom, aki az Oxfordi Egyetem Az Emberiség Jövője Intézetének igazgatója is egyben.

Ebben a poszthumán világban akár az is előfordulhat, hogy az emberre alig emlékeztető külsejű lények népesítik majd be. Elképzelhető például, hogy olyan emberek gondolatai és emlékei alapján létrehozott mesterséges intelligenciák világa lesz, akik feltöltötték magukat egy számítógépre, és csak digitális információként léteznek a szupergyors számítógépes hálózatokon. A fizikai testük már rég elenyészett, de milliszekundumok alatt képesek lesznek végtelen információhoz hozzájutni, és azonnal félreérthetetlenül megosztani gondolataikat és érzéseiket más digitális lényekkel.

Egy sokkal könnyebben felismerhető poszthumán lény úgy nézne ki, mint a mai emberek, esetében azonban génmódosítás és gyógyszerek segítségével lelassítanák az öregedés és a mentális hanyatlás folyamatait. Neurális csatlakozókkal és memóriabővítő protézisekkel szerelnék fel őket, vagy az is lehetséges, hogy részben kiborgok (kibernetikus organizmusok) lesznek a jó kondíció és erőnlét érdekében.

Az ember módosításának előretörése

Mindezek az elképzelések elég távolinak tűnnek, de technikailag egyikük sem lehetetlen. A technológiai fejlődés hamarosan ismeretlen vizekre kormányoz bennünket, és abból kiindulva, hogy a jelenlegi modern világunk alig néhány évtized alatt alakult ki, ki tudja, hol fogunk tartani pár évszázadon belül? Bár a jelenleg létező technológiák közül sok még gyerekcipőben jár, ott rejlik bennük a lehetőség, hogy megváltoztassák a fajunkat.

Feltehetően a mesterséges intelligencia is kialakul egyszer valami-lyen formában, és a számítógépek és robotok is képesek lesznek úgy gondolkodni, ahogy eddig kizártlag az emberekre volt jellemző. A gépek

A németországi Karlsruhei Kutatóközpontban (Forschungszentrum Karlsruhe) kifejlesztett mesterséges kéz, amely hidraulikus folyadék segítségével képes mozogni és fogni az ujjaival. Egy ilyen protézis akár a normál emberi képességek továbbfejlesztésére is felhasználható.



végül kétségtelenül gyorsabbak és kreatívabbak lesznek az embereknek - akkor miért ne építenénk be őket a testünkbe, hogy általuk jobbá tegyük önmagunkat is? Az emberi agy és a számítógépek közötti kapcsolódási lehetőségeket már jelenleg is tesztelik súlyosan rokkant betegek esetében, akik képesek a gondolat segítségével elmozdítani a kurzort egy számítógép képernyőjén. Vakok retinájára elektródákat rögzítettek, aminek következtében hosszú évek után először ismét visszanyerték a látásukat.

A futurista Ray Kurzweil szerint 2035-re az emberi agy és a számítógépek elkezdenek összeolvadni. Apró nanorobotok segítségével fogjuk továbbfejleszteni gondolkodási folyamataink minőségét és mennyiségett, így növelte intelligenciánkat. „2020-ra egy jelenleg 1000 dollárt érő számítógép ugyanazzal a feldolgozási teljesítménnyel fog rendelkezni, mint az emberi agy - nyilatkozta Kurzweil a *Guardian*nek 2005-ben.

- A 2020-as évek végére a reverse-engineering (RE, fordított mérnöki tevékenység) módszerével képesek leszünk létrehozni egy emberi agyat. ... 2030-ra már egyenrangú, sőt az emberi intelligenciát meghaladó gépek állnak majd rendelkezésünkre, de ahelyett hogy versengenénk, inkább szövetkezni fogunk velük. A nanotechnológia segítségével beépítjük őket a testünkbe. A hajszálereken keresztül bejutnak az agyunkba és megnövelik az emberi intelligenciát.” Kurzweil naponta több száz étrend-kiegészítőt szed és hetente fekszik be klinikákra, hogy egyéb intravénás egészségmegőrző készítményeket adjanak be neki azért, hogy életben tartsák mindaddig, amíg lehetővé válik saját testünk újraprogramozása.

Mi a helyzet a továbbfejlődést illető jóval józanabb elképzelésekkel? 2000-ben egy nemzetközi kutatócsoport publikálta az emberi génkészlet vázlatos szerkezetét. Előtte a kutatók évtizedekig foglalkoztak az egyes gének azonosításával és módosításával, ami igencsak vesződéses és bonyolult folyamatnak bizonyult. A genom szerkezetének ismerete, a DNS-szekvenálási technológiák költségeinek gyors csökkenésé-

vei együtt azt eredményezte, hogy a XXI. század első évtizede elhozta a molekuláris biológia aranykorát, és a gének vizsgálatával és módosításával foglalkozó kutatások száma exponenciálisan növekedni kezdett.

Ezzel párhuzamosan az őssejtbiológusok azzal foglalkoztak, hogy jobban megértsék a betegségeket és kialakulásukat, illetve hogy a test saját őssejtjeinek felhasználásával hogyan lehet pótolni az elpusztult szöveteket. Az orvosok a jövőben újraprogramozott őssejtek segítségével olyan bajokat is képesek lesznek kezelni, mint például a szívbetegségek vagy a neurodegeneratív betegségek, mint a Parkinson- és az Alzheimer-kór, illetve a cukorbetegség.

A génmódosítás és az őssejtkutatás is korai szakaszában jár még, és egyelőre csak a gyógyithatatlan betegségekben szenvedő emberek kezelésében kísérleteznek velük. A transzhumanisták azonban amellett érvelnek, hogy az új technológiáknak nem kellene itt megállniuk - miért ne használhatnánk ezeket arra, hogy az egészséges embereket is továbbfejlesszük, megnöveljük élettartamukat és kiterjesszük a kognitív képességeiket?

2030-ra már egyenrangú, sőt az emberi intelligenciát meghaladó gépek állnak majd rendelkezésünkre, de ahelyett, hogy versengenénk, inkább szövetkezni fogunk velük.

Potenciális veszélyek

Az új technológiákra általában igaz, hogy minél elfogadottabbak, ki-próbálthatóbbak és minél több kereskedelmi hasznat hoznak, annál olcsóbbá és hozzáférhetőbbé válnak. Az első, ismeretlenségen végzett kutatások évtizedei alatt az emberi lény fejlesztését szolgáló módszerek - az őssejtek, a genetika, a nanotechnológia és a mesterséges intelligencia - kétségekivül túl költségesek a nagy többség számára. Ez azzal

az aránytalansággal járhat, hogy a hosszú élettartamot és fejlettebb intelligenciát biztosító technológiák csak a gazdagoknak lesznek elérhetők. Ez persze nem újdonság - a jómódú emberek ma is több pénzt keresnek és jobb iskolákban taníttatják a gyerekeiket -, viszont ennek következtében a társadalmi szakadék tovább fog mélyülni.

Az emberek mindenkor veszélyt jelentettek egymásra; ennek ellensúlyozására hoztuk létre a törvényeket és azokat az intézményeket, amelyek segítségével megakadályozzuk, hogy az egyik csoport elnyomja a másikat. Mi történne azonban, ha az emberek egy hányada radikális mértékben okosabb lenne a többieknél? A törvények és intézmények többé nem feltétlenül érdekelnék vagy akadályoznák meg őket abban, hogy a világuralomra törjenek és mindenki mást rabszolgaságba hajtsanak vagy megöljenek.

Tekintsük például azt az eshetőséget, amikor egy személy már képes feltölteni a gondolatait egy olyan számítógépre, amely az összes biológiai folyamatot utánozni tudja. „Tételezzük fel, hogy az ilyen típusú feltöltések megelőzik az emberével egyenrangú mesterséges intelligencia megjelenését - írta Bostrom a *Journal of Evolution and Technologyban* megjelent esszéjében. - A sikeres feltöltés megőrzi az eredeti elme emlékeit, képességeit, értékeit és öntudatát, és sokkal könnyebbé teszi az intelligencia további fejlődését, mert gyorsabban futtatja a programot, kiegészíti azt a számítógép saját erőforrásaival és korszerűsíti felépítését. Elképzelhető, hogy ez egy bizonyos ponton túl egy olyan pozitív visszacsatolási hurkot hoz létre, ahol az egyre fejlettebb feltöltött elme megtalálja annak a módját, hogyan tegye önmagát egyre okosabbá, az új verzió pedig még inkább képes lesz önmaga továbbfejlesztésére és így tovább.”

Ha ez az elszabadult folyamat elég gyorsan megy végbe, akkor az eredmény egyetlen, az intelligencia szuperhumán szintjeit elérő, feltöltött elme lesz, míg mindenki más a normális, emberi intelligenciaszinttel fog rendelkezni. Ez a hatalmas intellektuális fölény olyan korlátlan

hatalmat biztosítana tulajdonosa számára, amivel például új technológiákat is képes lenne felfalálni. Ha hajlamos lenne a mások feletti uralkodásra, akár meg is tudná akadályozni, hogy mások is feltöltsék a saját elméjüket egy számítógépre. „A poszthumán világ így egyetlen egoista feltöltött elme preferenciáit tükrözne vissza (ami a legrosszabb esetben az értéktelennél is rosszabb lenne) - írta Bostrom. - Egy ilyen világban csak egy parányi része valósulna meg mindannak, ami lehetőséges vagy kívánatos lett volna.”

A jövő technológiái - egyre inkább összefonódó társadalmunkkal együtt - emberek egészen kisszámu csoportjait, vagy akár egyetlen embert is képesek felruházni a lehetőséggel, hogy hatalmas tömeget irányítsanak anélkül, hogy erre joguk lenne. A ma emberei még kelően elszigeteltek egymástól ahhoz, hogy egyetlen entitás se tudjon gyorsan olyan nagy kárt okozni bennük, ami elegendő lenne a teljes pusztuláshoz - ha valaki át is venné a totális uralmat, néhányuknak sikerülne túlélnie. Mi történne azonban akkor, ha a XXVII. század emberei többnyire számítógépes hálózatokban élő, egymással közvetlen kapcsolatban álló elmék lennének?

A veszélyek valóságosak, de a több ezer évvel ezelőtt abban az afrikai pusztaságban talált hegyes bothoz hasonlóan a fejlődést nem állíthatjuk meg minden ok nélkül. „Nem lehet csak úgy hátat fordítani ezeknek a technológiáknak - állítja Kurzweil -, és be sem lehet tiltani őket. Alapvető előnyöktől fosztanánk meg az emberiséget, és különben sem lehetne véghez vinni. Sót csak még nagyobb veszélyeknek tennénk ki magunkat, ha illegálissá tennénk ezeket a technológiákat, ahol még kevésbé lehetne ellenőrizni őket.”

Vajon tudnánk-e gyümölcsök és zöldségek nélkül élni? És mi a helyzet a pamutruhákkel? Hogy éreznénk magunkat, ha a világ egyetlen rétjét sem borítanák virágok?

A méhek pusztulása

zek a növények gazdasági és esztétikai értelemben is nélkülözhetetlen részei az életünknek, és generációkon át olyan rovaroknak köszönhetik a létezésüket, amelyeket színpompás virágaik és illatuk vonz, tápláló nektárt fogyasztani röpülnek hozzájuk, és akaratlanul hordják a virágport egyik növényről a másikra. Az általunk elfogyasztott étel egyharmada többek között a méhek, molylepkek és zengőlegyek beporzó tevékenységétől függ, ami azt jelenti, hogy ezek az állatok nagyból 42 milliárd dollár használhoznak a globális gazdaságnak. Ha az Egyesült Királyság beporzó rovarjai az utolsó egyedig eltűnnének, a

betakarított termény csökkenése évente 440 millió font kárt okozna a gazdaságnek, ami az ország mezőgazdaságból származó bevételeinek nagyjából 13%-át tenné ki.

A földkerekség uralkodója a méh. Több száz alfaja létezik világ-szerte és ezek mindegyike létfontosságú a legkülönbözőbb növények életciklusában, mint például az alma, a répa, a narancs, a hagyma, a brokkoli, a dinnye, az eper, a barack vagy az avokádó.

Azonban komoly aggodalomra adhat okot, hogy a méhek kezdenek eltűnni, ráadásul rohamos léptékben. Az 1950-es években tűnt fel először ez a probléma, és azóta renge-teg tanulmány dokumentálta a méhfajok hoszszú távú pusztulását. Tény, hogy a XX. század második felében a virágok beporzásáért felelős összes rovar száma világ-szerte komoly csökkenést mutatott a járványok, a városok környékén fekvő élőhelyük megváltozása és a rovarirtók egyre nagyobb arányú felhasználása következtében. Az

Illinoisi Egyetem entomológusa, Sydney Cameron tanulmánya jól érzékelteti, hogy minden milyen gyorsan megy végbe. Megvizsgálta az Egyesült Államokban élő poszméhek nyolc fajának genetikai diverzitását és körökozót. A *Proceedings of the National Academy of Sciences*ben 2011-ben publikált eredményei azt mutatták, hogy a poszméhek négy alfajának létszáma az elmúlt néhány évtized alatt 96%-kal csökkent a kutatott területen.

Összehasonlította a rovarok modern számlálási adatait a múzeumi nyilvántartásokkal, és azt találta, hogy az általa tanulmányozott méh-populációk közül négy (*Bombus occidentalis*, *B. pennsylvanicus*, *B. affinis*, *B. terricola*) földrajzi elterjedése 23-87%-kal csökkent, egyes esetekben az elmúlt két évtizedben.

Eredményei összhangban álltak a világ más tájain készült hasonló tanulmányokéval. Az Egyesült Királyság Ökológiai és Hidrológiai

Központja (Centre for Ecology and Hydrology) szerint a poszméhek 25 angliai fajából 3 már kihalt, a fennmaradó fajok felének létszáma pedig az 1970-es évektől jelentős mértékben, sokszor akár 70%-kal is csökken. Ráadásul az Egyesült Királyságban található pillangófajok 75%-a is a kipusztlás felé halad.

Kanadában, Brazíliában, Indiában és Kínában, illetve Nyugat-Európa nagy részén hasonló méhpusztulást figyeltek meg. Az Egyesült Államok Országos Kutatási Tanácsa (National Research Council, NRC) szintén arra hívta fel a figyelmet, hogy 2035-re Észak-Amerika méhei teljesen kipusztlhatnak.

A rovargazdaság

A poszméhek világszerte fontos szerepet játszanak mind a vadon élő, mind a mezőgazdasági haszonnövények beporzásában testük nagy fejlőlete, hosszú nyelvük és magas frekvenciájú zümmögésük miatt, ami abban segít, hogy a virágpor könnyebben lehulljon a virágról.

A méhek általában a világ összes haszonnövényének, beleértve a gyümölcsöket, a zöldségeket, a dió- és mogyorótól, nagyjából 90%-ának beporzásáért felelősek. A kávé, a szójabab és a gyapot terméshozamának növekedése is minden méhek beporzó tevékenységétől függ. A méhek ráadásul annak a táplálkozási láncnak is a kiindulópontját jelentik, amely fenntartja a vadon élő madarakat és állatokat.

A gyümölcsök és zöldségek minősége szintén nagymértékben függ a beporzástól. Tökéletesen formált eperszemek például csak akkor alkulhatnak ki, ha minden egyes magházat beporzott egy rovar. A tökben található magok száma pedig attól függ, hogy hány fajta rovar porozta be a növényt. „Ha legalább tízféle rovar porozta be a virágát, akkor jóval több magot fog tartalmazni a tök, mintha csak egyfajta rovar tette volna ugyanezt - mondja Giles Budge, az Egyesült Királyság

Élelmiszer- és Környezetkutatási Ügynökség (Food and Environment Research Agency, FERA) munkatársa. - Egy beporzó populációban belül fontos megőrizni az effajta diverzitást."

A pusztulás okai

Vajon mi okozhatja a méhek ilyen mértékű pusztulását? Tudósok egy-öntetű véleménye szerint a különböző járványok és a megváltozott mezőgazdasági gyakorlat együttes hatásának tudható be. „Az ipari méretű gazdálkodás, a rovarirtók egyre elterjedtebb használata és az élőhelyek megszűnése együttesen eredményezték a vadon élő rovarpopulációk olyan mértékű pusztulását, hogy jelentések szerint ma már világszerte csak a beporzó tevékenység 15%-áért felelősek - állítja Elliott Cannell, a Növényvédőszer Akciójárat (Pesticide Action Network, PAN) európai tagozatának koordinátora. - Ennek következtében a gazdálkodók házi méheket kezdtek bérálni, hogy beporozzák a növényeket, így ki-alakult a beporzással kapcsolatos piac. A kereslet hamarosan létrehozott egy új iparágat, amelynek eredménye a túlhajszolt, parazitáktól és növényvédőszerek hatásaitól szenvedő, az új körülményekhez rosszul alkalmazkodó házi méh lett.”

Az amerikai méhekről szóló tanulmányában Sydney Cameron két kiváltó okot is megnevezett: a *Nosema bombi* kórokozót és megmaradó méhpopulációk genetikai sokféleségének csökkenését. Az európai poszméhek körében elterjedt kórokozó lerövidíti az egyes méhek élettartamát és a kolóniák méretének törpüléséért is felelős. A csökkent genetikai diverzitás azzal jár, hogy a kisebb méretű populációk kevésbé képesek ellenállni az új kórokozóknak, a környezetszennyezésnek és a velük táplálkozó ragadozóknak.

MÉHPUSZTULÁS

az Egyesült Államokban az elmúlt 20 év alatt 96%

A méheknek egy másik kórokozóval is meg kell küzdeniük: a vérszívő varroa atkával. Ez az élőlény már évezredek óta elősködik az ázsiai háziméh-populációkon, szimbiózisban élve a helyi *Apis cerana* (indiai méh) populációval. Az 1916-ban átadott transzsibériai vasútvonal mentén kialakuló kereskedelem és az utasforgalom megjelenésével egy időben azonban a nyugati házi méheknek üjabb nehézséggel kellett szembenézniük. Ezek a populációk korábban még soha nem kerültek kapcsolatba ezzel az atkával, ezért semmiféle természetes védekező módszerrel nem rendelkeztek ellene.

A varroa atka az 1950-es évekre elérte a Szovjetuniót, két évtizeddel később pedig elterjedt Kelet-Európában és Dél-Amerikában is az emberek által odaszállított méhpopulációkkal együtt. Jelenleg Ausztrália az egyetlen földrész, amely mentes a varroa atkától. Házi méhek milliárdjai pusztultak el világszerte a rovarokra halálos vírusokat hordozó atkák miatt.

A vírusjárványok önmagukban azonban nem adnak kellő magyarázatot a tömeges rovarpusztulásra. Az elmúlt évtizedekben a méhek-

re messze a legnagyobb veszélyt a növényvédő szerek, különösen a neonikotinoid egyre elterjedtebb használata jelenti.

Az 1990-es évek elején francia mélészek rovarállományaik hirtelen megfogyatkozására lettek figyelmesek. Kutatásaik során hamarosan eljutottak a népsze-

A kereslet hamarosan létrehozott egy új iparágat, amelynek eredménye a túlhajszolt, parazitáktól és növényvédő szerek hatásaitól szenvedő és a munkakörülményeihez rosszul alkalmaszakodó házi méh lett.

rű, imidakloprid rovarirtó szerhez, amely az előző évben jelent meg a piacon. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (US Environmental Protection Agency, EPA) a házi méhekre erősen mérgező hatású szerként sorolja be. Miután egy év alatt ilyen mértékű méhpusztulást eredményezett, Franciaországban betiltották az imidaklopridot.

2008-ban Németországban három neonikotinoid tartalmú növényvédő szer használatát is felfüggesztették, miután a Baden-Württemberg régió méhészeinek jelentése szerint méheik kétharmada elpusztult a klotianidin növényvédő szerrel kezelt földterületek közelében. Ezzel a vegyszerrel a Rajna mentén ültetett csemegekukorica magjait kezelték.

Ez a probléma általánosan elterjedt. A Pennsylvaniai Állami Egyetem kutatói 2008-ban 70-féle növényvédő szer és lebomló anyag nyomait mutatták ki a vizsgált virágporokban és méhekben. A rovarok mindegyike magán viselte legalább egy növényvédő szer nyomait, míg valamennyi virágporminta átlagosan 6-féle vegyszert tartalmazott, egy esetben pedig összesen 31-féle szert mutattak ki egyetlen mintában.

A növényvédő szerek hatásaival foglalkozó kutatások azt mutatják, hogy a vegyszerek a méhek agyát károsítják, gátolva az idegsejtek közötti elektromos és kémiai jelátadást. Méhszakértők szerint már az egészen finom változások is elegendők ahhoz, hogy komoly zavarokat idézzenek elő a rovarok agyában, ennek következtében a begyűjtő útjukról visszatérő méhek többek között nehezebben találják meg a méhkast, és képtelenek a méhtánc eljárására, ami arra szolgál, hogy a kaptárba visszarepülve átadják társaiknak az információt az általuk felfedezett élelemforrás lelőhelyéről.

Meg tudjuk állítani?

Első lépésként a méhek pusztulása további megfigyeléseket és kutatást igényel. 2010 novemberében a missouri Saint Louis Állatkertben megrendezett tanácskozáson a tudósok azt javasolták, hogy megfogyatkozzák létszámuk miatt a *B. affinis*, a *B. terricolus* és a *B. occidentalis* végynék fel a Természetvédelmi Világszövetség (International Union for Conservation of Nature, IUCN) Kihalással fenyegetett fajok vörös listájára, röviden a Vörös Listára. Azt is indítványozták, hogy az IUCN-en

belül hozzanak létre egy poszméhekre specializálódott csoportot, amely a politikusok és kormányok munkáját támogatná a méhpopulációcsökkenés megállítása érdekében.

A Bristol Egyetem tudósai azon dolgoznak, hogy beazonosítsák a Bristol, Reading, Leeds és Edinburgh környékén található, a rovarok biodiverzitása szempontjából kedvelt helyeket, hogy a városokat barátságosabbá tegyék a méhek és más rovarok számára. Megpróbálnak minden területet feltérképezni a kertektől és szemétdomboktól kezdve az ipari területeken át a bevásárlóközpontokig, hogy kiderítsék, mely helyek szolgálhatnának a beporzásért felelős rovarok potenciális oázisaként.

Elő vadméhek DNS-ének vizsgálatán keresztül próbálják kideríteni, milyen messzire képesek eljutni a méhkirálynők új kolónia létrehozáshoz, és hogy a dolgozó méhek mekkora távolságra jutnak el egy-egy beszerzőút során.

Ha az igyekezet a méhpopulációk megőrzésére mégis eredménytelennek bizonyulna, akkor lehet, hogy új beporzó rovarok után kell néznünk, amelyek pótolni tudják a poszméheket. Az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériumának (US Department of Agriculture) beporzó rovarokkal foglalkozó kutatóegysége a Utah Állami Egyetemen

Ezek a rovarok naqyjabol

42 milliárd dollár hasznöt hoznak a qlobalis qazdasaanak.

már egy ideje a gyümölcskerti kőműves méheket tanulmányozza.

A házi méhekhez hasonlóan a gyümölcskerti kőműves mehek számos növény, köztük a mandula-, a barack- és az almafák beporzásában is részt vesznek. Nem kaptárokban élnek, hanem szívesebben időznek olyan lyukakban, amit más állatok fúrtak kidőlt törzsekbe, vagy épp az emberek különböző fadarabokba. Ráadásul rendkívül eredményesek: 2000 kőműves méh képes elvégezni 100 ezer házi méh munkáját, ha gyümölcsfák virágainak beporzásáról van szó.

Bármit hozzon is a jövő, reménykedjünk, hogy a méhek zümmögése soha nem hallgat el.

A Föld növényei, állatai és mikroorganizmusai évmilliárdok óta együtt fejlődnek a kölcsönhatások komplex rendszerében. A világon minden ökoszisztemára jellemző az a kényes egyensúly, amivel a benne élőket igyekszik fenn-tartani. Azonban illesszünk be valami nem oda tartozót, egy növényt vagy állatot, amit a természet eredetileg nem oda szánt, és már is elszabadulhat a pokol.

Betolakodó fajok

gy faj egyedei versengenek a táplálékért és az élőhelyért, az állatok rejtőzködnek vagy vadásznak egymásra, a mikrobák szimbiózisban élnek vagy éppen elősködnek más növényeken és állatokon. Idővel ezek a kölcsönhatások változatos életformák kiegyensúlyozott ökoszisztemáit hozták létre világszerte, ahol a különböző fajok megtanultak hirtelen drámai változások nélkül egymás mellett élni.

Képzeljük el, mi történik, amikor egy ilyen kiegyensúlyozott ökoszisztemában megjelenik egy betolakodó! Ez bármilyen növény vagy állat lehet, amely nem vett részt az ökoszisztemát alkotó számtalan élőlény közös evolúciójában. Egy ragadozónak, agresszívan terjeszkedő növénynek vagy kórokozó mikrobának nem lenne nehéz dolga ott, ahol egyetlen faj sem fejleszthetett ki ellene védelmet. Ha nincs módszer korlátozni e ragadozó viselkedést, a betolakodó populációja elszaporodna, és az egykor kiegyensúlyozott ökoszisztemáma gyorsan az összeomlás szélére kerülne.

„Kérdezzünk meg egy ázsiai rizstermesztőt egy bizonyos barna vagy zöld színű, időnként 10 cm-esre is megnövő csigafajtáról, olyan lesz, mintha gonosz marslakókról faggatnánk - mondja Áchim Steiner, az ENSZ Környezetvédelmi Programjának (United Nations Environment Programme) ügyvezető igazgatója. - A sárga vagy rejtélyes almacsiga (*Pomacea canaliculata*) a rizsföldek rémévé vált, mivel csillapíthatatlan étvágyával tönkreteszi a termést. Ennek a csigának a visszasorítása kisebb vagyonba kerül, ráadásul minden környezetvédelmi szempontból megkérőjelezhető vegyszerek segítségével teszik. Ez a puhatestű állat csak egyike annak a több tízezer élőlénynek, amelyet idegen betolakodó (invazív) fajnak nyilvánítottak.”

A betolakodó fajok évente legalább 1,4 millió dollárjába kerülnek a globális gazdaságnak. Megzavarják és elpusztítják a helyi ökoszisztemákat, vírusokat terjesztenek el világszerte, megmérgezik a talajt és óriási károkat okoznak a mezőgazdaságnak. Ráadásul lehetetlen megállítani őket.

Mik azok a betolakodó fajok?

A betolakodó élőlények gondolata talán a bibliai sáska járást juttatja eszünkbe, esetleg a földönkiVülieket H. G. Wells *Világok harca* (*The War of the Worlds*)⁵ című regényéből, akik azért érkeznek a Földre, hogy módszeresen kipusztítsák az emberiséget. Mindkét történet meglehetősen félelmetes a maga módján, de egyik sem közelíti meg azt a pusztítást, amelyet jelenleg az emberek idéznek elő világszerte a fajok akaratlan behurcolásával, olyan organizmusokat kényszerítve az egymással való megküzdésre, amelyeknek természetes úton soha nem lett volna szabad találkozniuk.

Ez részben globalizált világunk mellékhatásainak egyike. Az áruszállítás 90%-a jelenleg a tengeren történik, és a forgalom 2018-ra valószínűleg megduplázódik, a globális hajóflotta pedig 25%-kal fog nőni. Európa tengeri kikötőin évente több százmillió utas halad át.

Az idegenforgalom és a kereskedelemlökönök növekedésével a különböző fajok az utazók csomagjain vagy ruházatán, a hajók rakományában, ballaszt- és szennyvízében jutnak el egyik országból vagy földrészről a másikra. A növények és állatok az egyik országban fennakadnak a hajó testén, majd pár hónappal később egy több ezer km-rel távolabbi ország kikötőjében és vízi útjain kötnek ki. Az 1990-es évek végén és a 2000-es évek elején az Északi-tengeren kezdett megfogyatkozni a halállomány - mint kiderült, mindezt a Kína partjairól a ballasztvízzel véletlenül behurcolt algafajták virágzásával lehetett kapcsolatba hozni.

A sárga almacsiga az 1980-as években került Dél-Amerikából Ázsiaba mint akváriumi kedvenc és ínyencfogás. Amikor kiderült, hogy a csigákat nem tudják jó áron eladni, az importőrök szabadon engedték őket az ázsiai tavakban, mára pedig már tucatnyi ázsiai országban elterjedtek.

Az ellenkező irányban tette meg az utat a Föld körül az ázsiai hoszszúcsápú cincér (*Anoplophora glabripennis*), amely eredetileg Japánban, Koreában és Kínában honos. Ennek a fajnak a nőstényei a keményfák

(mint például a kőris, juhar, gesztenye, fűzfa) törzsének kérgébe rág-nak lyukakat, hogy ott helyezzék el a petéiket. Amikor ezek kikelnek, a lárvák továbbbrágják magukat a fatörzsben és akkora kárt képesek okozni, hogy a növény akár bele is pusztulhat.

Az elmúlt évtizedek során ilyen cincéreket találtak Észak-Amerikában és Európában is, amelyek nagyrészt az importált faanyaggal, illetve fa csomagolóanyaggal együtt érkeztek. Egy észak-olaszországi parazitafertőzés következtében, amelyet egyetlen kifejlett példány okozott 4 fán, több mint 300 fertőzésgyanús törzset kellett kivágni a közelben,

hogy ne tudjon továbbterjedni a kártévő

Évente nagyjából 10 új, fai jele-nik meg Európában, koztuk egy-re nagyobb szám-ban gerinctelen állatok 'es'hálak. A Mezőgazdasá-

Megzavarjak es elpusztítják a helyi ökoszisztémákat, vírusokat terjesztenek el világszerte, megmergezik a talajt es oriasi karokat okoznak a mezogaz-dasagnak. Raadasul lehetetlen megállítani őket.

S¹ es BioloS^{iai}Tudoman^y o^kNem^u

zetközi Központjának (Centre

for Agricultural Bioscience International, CABI) környezetvédelmi cso-
portja készített egy tanulmányt az Egyesült Királyság kormánya számá-
ra a nem őshonos fajokról. Eszerint ahhoz, hogy egy faj az új élőhelyén
elterjedjen, átlagosan 50 évre van szüksége, ez az időszak azonban
rövidebb a trópusi fajoknál, mint a mérsékelt égövieknél. A jelentés
azonban leszögezi, hogy „[egy betolakodó faj] elterjedésének sebessé-
ge gyakran exponenciálisan nő”.

A biodiverzitásra és az ökoszisztéma-szolgáltatásokra gyakorolt hatások

Nagy-Britannia több mint egymilliárd hektár keményfaerdővel rendel-kezik. A kormány becslései szerint a gazdaságnak több mint 430 millió

fontjába kerülne, ha az ázsiai hosszúcsápú cincér megjelenne ezekben az erdőkben. Ebbe az összegbe bele tartoznak a beteg fák és a fertőzött területek elszigetelése érdekében kivágandó egészséges fák miatt kieső bevételek. Egy Egyesült Államok méretű ország esetében ez az összeg elérheti az elképesztő 138 milliárd dollárt is, ha a cincérfertőzés nyomán a teljes keményfa-feldolgozó ipar tönkremegy.

A betolakodó növények is képesek megkeseríteni az emberek életét. „Vegyük például a vízi jácint (*Eichhornia*) esetét - mondja Steiner. - Ez a növény az Amazonas-medencében őshonos, a többi földrészre, például Afrikába azért került, hogy dísztavakat dekoráljon gyönyörű ibolyaszínű virágával. Semmi csodálatos nincs azonban a Viktória-tóra gyakorolt hatásában, ahová 1990 környékén érkezhetett meg Ruandából és Burundiból a Kagera-folyón át.”

Steiner szerint a tó felszínét ellepő vízi jácint befolyásolta a hajózást, csökkentette a kifogott hal mennyiségét, akadályozta az elektromos áram előállítását és az emberi egészségre is ártalmas. „A növény mára már világszerte több mint 50 országban terjedt el, és csak az ugandai gazdaságnak 112 millió dollár éves költséget jelent. Az Afrika szubszaharai régiójába betolakodó boszorkányfű vagy boszorkánygyom (*Striga hermonthica*) felelős az évi 7 milliárd dollárt is elérő kukoricakárokért. Ami Afrika 8 legfőbb terményét illeti, az idegen fajok által okozott károk értéke összességében meghaladhatja a 12 milliárd dollárt is.”

A biodiverzitás csökkenésének is közismerten a betolakodó fajok a legfőbb okozói világszerte. „A 174 európai fajból, amelyek a Természet-védelmi Világörökség (IUCN) Vörös Listáján a súlyosan veszélyeztetett kategóriába tartoznak, 65 faj más behozott fajok miatt került veszélybe” - szerepel az Európai Környezetpolitikai Intézet (Institute for European Environmental Policy, IEEP) 2010-es jelentésében. Ide tartozik a legfenyegetettebb fajok közül az európai vidramenyét (*Mustela lutreola*) és a halcsontfarkú réce (*Oxyurajamaicensis*). „A betolakodó fajok száma minden osztályban nő, beleértve az emlősöket is: évente egy új idegen

emlősfaj jelenik meg. Hasonló tendenciák figyelhetők meg Európa tengeri élővilágában is."

Az IEEP-jelentés szerint globális szinten a betolakodó fajokat azonosították be a Vörös Listán szereplő kihalt fajok 54%-ánál mint kulcsfontosságú tényezőket, a kihalt fajok 20%-ának esetében pedig

kizárolagos kiváltó okai voltak a pusztulásnak. „Ezek a második legfontosabb nyomást gyakorló tényezők a madarak esetében, a súlyosan veszélyeztetett madarak

több mint felére hatással vannak, a harmadik legkomolyabb veszélyforrást jelentik az emlősök és a negyediket a kétéltűek esetében.”

A betolakodó fajok egészségügyi kockázatokat is hordoznak az emberek számára. A svábbogarak például kórokozó baktériumokkal fertőzhetik meg az ételt és mérgezést okozhatnak. A fent említett CABI-jelentés kiemeli, hogy „a Minősített Környezet-egészségügyi Intézet (Chartered Institute of Environmental Health, CIEH) által Londonban, a 421 lakásból álló Cossall-lakótelepen készített felmérés szerint a rendszeresen svábbogár-inváziót elszenvedő 8 háromemeletes épület lakásainak 15,7%-ában találták meg a rovarok nyomait. Becslések szerint az angliai kórházak 59%-ában jelentettek svábbogár-előfordulást.”

Gazdasági költségek

A betolakodó növények és állatok tönkretehetik a helyi biodiverzitást és megzavarhatják a táplálékláncot. Ugyanakkor tönkretehetik a mezőgazdasági terményeket és olyan kulcsfontosságú ökoszisztema-szolgáltatásokat veszélyeztethetnek, mint például a beporzás vagy a víz tisztaságának megőrzése, amelyek elengedhetetlenek az élhető körülmények fenntartásához és a földművelésből szerzett bevételekhez.

A Fülöp-szigeteken a sárga almacsiga az éves rizstermésben okozott közel 45 millió dollár kárért tehető felelőssé. Az IEEP-jelentés szerint a betolakodó fajok hatására keletkező termeléskiesés, az egészségügyi következmények és a károk helyreállításának költségei Európában az elmúlt 20 évben már eddig is legalább évi 12 milliárd euróba kerültek.

Az Egyesült Királyságban évente több mint 3,5 milliárd dollár értékű termény megy tönkre a betolakodó kártevők és gyomok hatására. Egy 2004-ben készült tanulmány szerint, amelyet Dávid Pimentel, a Cornell Egyetem Mezőgazdasági és Élettudományi Kollégiumának (College of Agriculture and Life Sciences at Cornell University) munkatársa készített, az Egyesült Államokban a nagyjából 50 ezer betolakodó faj által okozott kár és veszteség eléri az évi 120 milliárd dollárt.

Mit tehetünk?

Néhány ország már felismerte a betolakodó fajok potenciális veszélyeit, és szigorúan szabályozták a külföldről behozható növényeket és állatokat. Steiner szerint azonban sok állam még mindig nincs tisztában a fenyegetés valódi mértékével. Szerinte növelni kellene a vámhivatalok, az egészségügyi karanténok és tudományos intézmények kapacitását, amelyek képesek időben figyelmeztetni a betolakodó fajokra.

„A nagyobb odafigyelés a fertőzött területek ökoszisztemáira ugyancsak hasznos lehet - vonja le a következtetést Steiner. - Van rá bizonyíték, hogy különféle őshonos édesvízi növények betelepítése a sárga almacsigával fertőzött területekre csökkentheti a rizstermésben okozott károkat. ... A gazdaság helyreállítását követően azonban a globális áruszállítás révén, visszatér a további inváziók kockázata. A betolakodó fajok megjelenése minden részét képezte a biodiverzitást érintő általános kihívásoknak, az is igaz azonban, hogy már egy jó ideje nagyon is megkönyítjük a dolgukat ezen a téren.”

Egy vezető ENSZ-hivatalnok „korunk legnagyobb környezeti kihívásának” és „a globális jólétet fenyegető veszélynek” nevezte. Milliók esetleg milliárdokat fog rákényszeríteni, hogy elhagyják lakóhelyüket, háborúkat robbant ki, az emberek péképtelenek lesznek megtermelni az életben maradás nélkülözhetetlen élelmet.

A Föld elsivatagosodása

Föld hatalmas területeinek lassú eróziója, terméketlen sivataggá válása olyan természetes folyamat, amely az éghajlat átalakulásának hatására évmilliókon át tart. Annak köszönhetően, ahogy a környezetünkkel bánunk, illetve a légkörbe kerülő egyre nagyobb mennyiségű üvegházhatású gázok hatására mára annyira felgyorsult ez a folyamat, hogy akár egyetlen emberöltő alatt is végbemehet. Ráadásul a világnak éppen azokban a szegleteiben, ahol az ott élők aligha képesek megbirkózni a következményekkel.

„A talaj legfelső, alig 20 cm-es rétege választ el bennünket a kihalástól” - állítja Luc Gnacadja, az ENSZ Elsivatagosodás Elleni Egyezményének (United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD) ügyvezető titkára. Az egészséges talaj nagy mennyiségű szemet képes megkötni, és a benne élő organizmusok elengedhetetlen feltételei a növények és erdők növekedésének. Gnacadja a szomáliai fegyveres konfliktusok, az ázsiai homokviharok és az elmúlt években megemelkedett élelmiszerárak egyik legfőbb okának a föld erózióját és kiszákmányolását tartja. Az 1980-as évek óta a bolygó szárazföldi területeinek egynegyede vált használhatatlanná a talaj pusztulásának következtében, és ez a terület jelenleg évente 1%-kal nő.

Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete szerint nagyból 10 millió hektár szántónak megfelelő, 75 milliárd tonna termőföld tűnik el évente a talajerózió, az elmocsarasodás és a szikesedés következtében. További 20 millió hektár válik használhatatlanná a talaj minőségének romlása miatt.

Ezt a problémát azonban nem lehet egyhamar orvosolni. Lester Brown, a Földpolitikai Intézet (Earth Policy Institute, EPI) elnöke szerint 1000 évig is eltarthat, amíg egy 2,54 cm-es talajréteg megújul. „A Föld szárazföldjeinek felszínét borító vékony termőtalajréteg je-

A növekvő szárazság az alacsony csapadékhozamú területeket a világ konfliktus leghajlamosabb régióivá tes

lenti a civilizációt alapját - mondja. - Ez a kb. 15,24 cm vastagságú talajréteg geológiai értelemben is nagyon hosszú idő alatt alakult ki azáltal, hogy az új talaj képződésének mértéke meghaladta a természetes talajéróziót. Valamikor az elmúlt évszázad során, az emberi és élőállat-populációk hirtelen megnövekedése következtében a talajérózió mértéke igen nagy területeken kezdte meghaladni a természetes talajképződését."

A világ népességének növekedésével együtt az igény is megnőtt arra, hogy még több élelmet termeljünk a rendelkezésre álló földterületeken. „A növekvő szárazság az alacsony csapadékhozamú területeket a világ konfliktusokra leghajlamosabb régióivá teszi - állítja Gnacada. - Ha a szomáliai, dárfúri és Ázsia szárazföldi területein kirobbanó összecsapások valódi okait keressük, meg kell értenünk, hogy az emberek annak érdekében, hogy az életben maradáshoz termőföldhöz és ivóvízhez jussanak, előbb-utóbb konfliktusba keverednek.”

Hogyan alakulnak ki a sivatagok?

A Föld felszínének csaknem egyharmadát borító hatalmas sivatagok a szárazföld és az éghajlat évmilliókon át tartó kölcsönhatásának eredményeképpen jöttek létre. Ezek a száraz területek több mint 2 milliárd ember otthonául szolgálnak, és a növényzettől, a csapadék mennyiségének változásaitól és attól függően, hogy az emberek miként használták vagy használták ki a földet, nő vagy csökken a méretük. Az Amerikai Egyesült Államok Földmérő Hivatala (US Geological Survey, USGS) meghatározása szerint „ezeket a régiókat elsősorban a szárazságuk miatt nevezzük sivatagoknak. A hőmérsékletük lehet forró vagy hideg, a felszíneket boríthatja homok vagy kő, elszórtan akár növényzet is tarkíthatja, de a sivatagok legjellemzőbb tulajdonsága az, hogy szárazság uralkodik a területükön.”

Elsivatagosodás alatt azt a folyamatot értjük, ahogy az egykor megművelt vagy műveletlen földek, erdők, vad területek termőtalajrétege pusztulásnak indul. Maguknak a sivatagoknak természetes jellemzője, hogy a méretük folyamatosan változik, és „a természetes sivatagoktól távol eső területek is igen gyorsan terméketlen pusztasággá, kő- vagy homoktengerré válhatnak a nem megfelelő földgazdálkodás következtében - szögezi le a USGS. - A természetes sivatagok közelsége nem hozható közvetlenül kapcsolatba az elsivatagosodás folyamatával. Sajnálatos módon az elsivatagosodó területek általában csak akkor kerülnek a figyelem középpontjába, amikor a folyamat már régen elkezdődött és nem lehet visszafordítani vagy megállítani. Gyakran nem elegendő vagy egyáltalán nem áll rendelkezésre olyan adat, amely az ökoszisztemá korábbi állapotára vagy az erózió mértékére engedne következtetni.”

Az elsivatagosodás egyik legismertebb példája az 1930-as években az Egyesült Államok Nagy-síkságain dúló Dust Bowl néven is elhíresült homokvihar-sorozat, amelyet az akkori száraz időjárás és a haszonállatok túllegettetése okozott. Ez idő alatt 3,5 millió ember kényszerült feladni az otthonát és addigi megélhetését. Manapság a Kínában található Góbi sivatag felől érkeznek hasonló homokviharok Pekingbe és a környező országokba, közöttük Dél-Koreába. A legnagyobb viharok akár Észak-Amerikáig is eljutnak.

Amikor egyszerre túl sok természeti erőforrást veszünk igénybe - ilyen például a túlzott növénytermesztés, a folyami szabályozás, a túllegettetés és az emberi települések terjeszkedése -, a talaj egyszer csak kimerül. „A növekvő népesség és élőállattartás következtében a gazdálkodás a gyengén termő földeken felgyorsítja az elsivatagosodás folyamatát - állítja a USGS. - Egyes területeken a nomádok vándorlása

A növekvő népesség és élőállattartás következtében a gazdálkodás a gyengén termő földeken felgyorsítja az elsivatagosodás folyamatát.

a kevésbé száraz területek felé megzavarja az ottani ökoszisztemát és növeli a talajerózió mértékét. A nomádok próbálják elhagyni a sivataget, azonban mezőgazdasági szokásaik miatt magukkal viszik azt."

Az is tévhít, hogy az elsivatagosodás legfőbb kiváltó oka az aszály. A szárazság természetesen közös jellemzője minden veszélyeztetett területnek, de a USGS szerint a jól karbantartott földterületek képesek újra magukhoz térti, amikor ismét elered az eső. „Az aszályok idején folytatott helytelen gazdálkodás azonban csak tovább fokozza a talajeróziót. A nyugat-afrikai Száhel-övezetben 1968-ban kezdődött aszály az ottani földhasználati gyakorlattal együtt több mint 100 ezer ember és 12 millió szarvasmarha pusztulását eredményezte 1973-ra, és a falvaktól az országos méretig teljesen szétzilálta a társadalmat.”

Amikor egy földterület tönkremegy és elsivatagosodik, többé nem képes táplálni a növényeket és állatokat, és megszűnik rajta az élet. A sivatagokban eltűnik a biodiverzitás, az alapvető termények sem termnek meg, ami éhínséghöz vezet. 2008-ban a rendelkezésre álló földterületek pusztulása következtében a búza ára az előző évhez képest a 130%-os kiugró értéket is elérte globálisan, a szójabab ára pedig több mint 80%-kal nőtt.

Afrikában a földterületek közel 75%-a fekszik száraz éghajlaton, és a földművelés elterjedésének köszönhetően a lehetséges elsivatagosodás veszélyezteti. 1950-ben a kontinens 227 millió lakosnak és 273 millió haszonállatnak adott otthont; alig fél évszázaddal később pedig közel 1 milliárd ember és több mint 800 millió haszonállat él itt.

ELSIVATAGOSODOTT TERÜLETEK ÉVENTE KÍNÁBAN

1950-1975:1550 km²

1975-2000:3625 km²

Mostanában azonban a legtöbb figyelmet igénylő, megállíthatatlan elsivatagosodás Kínában meg végbe. A száraz éghajlat, a több száz évi helytelen földgazdálkodás és az összes többi államnál gyorsabb gazdasági növekedés túlzott víz- és talajigénye következtében

az ország összterületének több mint egynegyede leromlott állapotba került, homok vagy kő borítja.

A haszonállat-állomány gyorsan nőtt Kínában, ezzel szemben a rendelkezésre álló legelők területe csökkent. Az ottani tudósok jelentése szerint 1950 és 1975 között évente kb. 1550 km² terület vált sivataggá. A századfordulóra ez a szám elérte az évi 3625 km²-t. Lester Brown szerint „az elmúlt fél évszázad során Kína északi és nyugati régiójában 24 ezer falu néptelenedett el teljesen vagy részben, miután ellepte őket a futóhomok”.

Megállíthatjuk ezt a folyamatot?

Az elsivatagosodás és következményeinek megállításához vagy lelassításához a földművelőknek jobb földgazdálkodási módszereket kellene elsajátítaniuk és sokkal takarékosabban kellene bánniuk a vízkészletekkel. Az aszály sújtotta területeken szárazságtűrő növényeket ültetnének - ezek kiváló élelmiszerek és a talajt is megkötik.

Emellett a fizikai határok építése is lehetőség. A kínai hatóságok egy több mint 4830 km hosszú erdősávot telepítettek Peking külső területei és Mongólia között annak érdekében, hogy megvédjék városait a Gobi sivatag felől érkező homokviharoktól. 2011-ben a UNCCD egyik ülésén jóváhagyták annak a 8000 km hosszú és 14,5 km széles erdősávnak az ültetési tervezetét, amely a Szomáli-félsziget tövében fekvő Dzsibutitól a szenegáli Dakar városáig húzódna - reményeik szerint ez a „pánafrikai Nagy Zöld Fal” megállíthatja a Száhel-övezet elsivatagosodását.

A korszerű mezőgazdasági módszerek is sokat javíthatnak a helyzetben. A hagyományos növénytermesztés abból áll, hogy felássuk a földet, majd beleszórjuk a magokat. Mindez generációkon át jól működött, de a talaj szerkezetét szétzúzza, amitől az eső és szél okozta erózió

még inkább felgyorsul. A talajművelés nélküli, ún. no-till gazdálkodás egyfajta megoldást jelenthet erre a problémára: lényege, hogy a magokat ásás nélkül, közvetlenül a földbe fúrják. Ezt a módszert több országban is alkalmazzák, köztük az Egyesült Államokban, Brazíliában, Argentínában és Kanadában is.

Nagyméretű kövekkel vagy benzineshordókkal beborítani a homokdűnéket ugyancsak megoldás lehet a széláramlatok és ezzel a homokmozgásának megállítására. A dűnék felszínének lefedése szalmából készített rácsozattal szintén csökkenteni képes a szél sebességét. A USGS szerint „a rácsok közé ültetett bokrokat és fákat megtartja a szalma, amíg azok gyökeret eresztenek. Azokon a területeken, ahol rendelkezésre áll valamennyi víz az öntözéshez, a széloldali alsó harmadra ültetett cserjék képesek stabilizálni a dűnét, így a növényzet csökkeneti tudja a talajszinten a szél sebességét, és megakadályozza a homok nagy részének elmozdulását. A sebesebb szélrohamok a dűne tetejéről lefújják a homokot és az így keletkező laposabb felszínen könnyebb fákat ültetni.”

Ami a sivatagok kizöldítését illeti, léteznek ennél nagyratörőbb elkezelések is. A Sahara Forest-projekt az óriási, tengervízzel működő üvegházak és a Nap sugarait tükrök segítségével összegyűjtő, ezáltal hőt és elektromos áramot termelő koncentrált napenergia (concentrated solar power, CSP) kombinálásával jönne létre. A projekt megállmodói szerint ezek a berendezések buja növényzetű dzsungellé váltattnak a sivatagot anélkül, hogy kutakat kellene ájni a friss vízáért. A működési elv szerint a napenergia működtetné a tengervíz-párásítókat, majd az így kinyert nyirkos, hűvös levegőt szintén a napenergia segítségével pumpálnák keresztül az üvegházakon, ahol ennek hatására a kintinél akár 15 °C-kal alacsonyabb hőmérséklet is létrejöhets. Végül az üvegház másik végén lecsapódó vízpárat összegyűjtenék, hogy ennek az édesvíznek egy részével a növényeket locsolnák, a maradékot pedig a napenergiát összegyűjtő tükrök tisztításához használnák

fel, ami szintén lényeges feladat. Az eddig tesztelt hasonló működésű üvegházakban az enyhén párás, nyirkos környezetben élő növények fantasztikusan jól fejlődtek.

A kínai hatóságok azt tervezik, hogy milliárdokat költenek elsivatagosodás elleni óvintézkedésekre - beleértve a faültetést, emberek millióinak visszatelepítését és az állattartásra és növénytermesztésre vonatkozó korlátozások bevezetését -, de saját bevallásuk szerint akár 300 év is eltelhet, mire érzékelhető hatást érnek el.

Kezünkben vannak a megoldások, amelyekkel megállíthatjuk a bolygó földterületeinek teljes lepusztulását, és létezik némi politikai akarat is erre vonatkozóan. A nagy kérdés csak az, hogy képesek leszünk-e kitartani az elkövetkező generációkon át, hogy rendbe hozzuk az eddig elkövetett hibákat.

Mi történne, ha Londonban az egekbe szökne a kenyér ára, vagy Mexikóban egyszer csak nem lehetne tortillát kapni? Ha az élelmiszerek annyira megrágulnának, hogy csak a leggazdagabbak juthatnának hozzá, vajon mi lenne a leginkább fejlődésre szoruló országok sorsa? Éhezésre lennének ítélezve? Túlélne a világ, ha a mezőgazdasága összeomlana?

Globális élelmiszerválság

Civilizációkat a mezőgazdaság tette olyanná, amilyen jelenleg, hiszen a technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre hatékonyabban képes biztosítani egyre több ember élelmiszer-ellátását. Azonban a népesség további növekedésével és az élelmiszer-termelésre alkalmas földterületek mennyiségett is érintő klímaváltozás miatt az emberiség még nagyobb igényeket támaszt a mezőgazdasággal szemben. Vajon képesek leszünk-e lépést tartani?

Ez nem először történik meg velünk, ugye?

Évszázadok óta minden előkerül egy-egy pessimista jóslat az élelmiszerhiányra vonatkozóan. 1798-ban Thomas Malthus a korlátlan emberi szaporodás veszélyeire hívta fel a figyelmet - szerinte az egyre több ember számára biztosítandó élelem igénye meg fogja haladni a mezőgazdasági termelés kapacitását, és emberek fognak éhen halni. (Lásd 58. o.) Aggodalmai a mezőgazdasági forradalom és az új technológiák megjelenése következtében soha nem váltak valóra, hiszen sokkal hatékonyabbá vált a mezőgazdasági termelés és gyorsabbá az áruszállítás. A műtrágyázás hatására a növények magasabbra nőttek, az öntözés segítségével a terméketlen területeket is termővé varázsolatták, a búza egyes fajtái pedig még nagyobb terméshozamot biztosítottak.

Valahányszor egy aggódó akadémikus kijelentette, hogy a bolygó potenciális élelmiszerforrásaira nehezedő egyre nagyobb nyomás az emberi civilizáció végét hozhatja el, minden kiderült, hogy tévedett. Vajon akkor mennyi hitele van egy ilyen jóslatnak manapság?

Lester Brown ős-környezetvédő és a Világfigyelő Intézet és a Földpolitikai Intézet alapítója szerint a XXI. századi élelmiszerhiányok komoly fenyegetést jelentenek a globális stabilitásra.

Brown szerint az 1960-as, 1970-es évek zöld forradalma, amely különböző technológiai újításokon keresztül járult hozzá a mezőgazdasági termelékenység ugrásszerű megnövekedéséhez, elérte a korlátait, és az egy adott földterületre jutó termés mennyiségenek hosszú távon elvárt növekedése lassulni kezdett. „1950 és 2000 között a világ mezőgazdaságaiban több mint évi 2%-kal nőtt az egy hold földre jutó gabonatermés mennyisége, és ez még a népességnövekedés mértékét is meghaladta - írta Brown a *Scientific American*ben 2009-ben. - Azóta azonban az éves hozamemelkedés alig több mint 1%-ra lassult le. Úgy tűnik, néhány országban a hozamok elértek a valós határaikat, beleértve Japán és Kína rizstermelését is.”

Az okok egy része a kínálattal van összefüggésben - természetes környezetünk kezdi elérni termelési kapacitásának végső korlátait. A klímaváltozás következtében kialakuló hőmérséklet-emelkedés valós veszélyt jelent a globális gabonatermésre is: az Amerikai Tudományos Akadémia (National Academy of Sciences, NAS) kutatásai szerint a felszíni átlaghőmérséklet minden 1 °C-os emelkedésével a büza, a rizs és a kukorica terméshozama 10%-kal csökken. Itt kell megemlítenünk a világ édesvízkészleteinek gyors kimerülését is, amely néhány országban a fosszilis víztartórétegek kibányászásához és más nem megújuló források felhasználásához vezetett annak érdekében, hogy öntözni tudják a földjeiket. A talaj legfelső termőképes rétege is sok helyen pusztulásnak indult, méghozzá jóval meghaladva az új termőtalaj kialakulásának mértékét. „Ez a növények számára létfontosságú tápanyagokat tartalmazó vékony talajréteg jelenti civilizációnk alapját, amely geológiai értelemben nagyon hosszú idő alatt alakult ki, átlagos vastagsága mégsem haladja meg a 15 cm-t - írja Brown. - A termőtalaj

szél és víz okozta erózia a történelem során több civilizáció hanyatlását idézte már elő.”

AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK BIOÜZEMANYAGKÉNT

107 millió tonna
ez évente 330 millió ember
élelmezését biztosítaná

Keresleti oldalról viszont egyre nő az igény a gabonára. Ez részben az emelkedő jólétének köszönhető. „Az alacsonyabb jövedelmű országokban,

mint például India, ahol a kalóriabevitel 60%-át gabonából fedezik, az emberek naponta kb. 0,5 kilót fogyasztanak el közvetlenül - állítja Brown. - Az Egyesült Államokhoz és Kanadához hasonló jóléti társadalmakban viszont az egy főre jutó gabonafogyasztás ennek majdnem a negyszerese, bár ennek 90%-át valószínűleg, a gabonával táplált haszonállatok húsának, tejének és tojásainak fogyasztása teszi ki.”

Minél több ember kezd el húst fogyasztani Indiában és Kínában, mivel egyre többen engedhetik meg maguknak a korábban túl drágának tartott élelmiszereket, annál sürgőbbé válik a gabona iránti egyre növekvő igények kielégítése.

Kenneth Cassman, a Nebraska-Lincoln Egyetem agronómusa szerint az 1960-as években kezdtődött zöld forradalom kezdete óta az emberiség szokatlan élelmiszer-túlkínálatnak örvend. Szerinte „ezek a változások elősegítették a gazdasági fejlőést, és világszerte jelentősen csökkentették az éhezést és szegénységet is. Azonban minden hirtelen a visszájára fordulhat a világ legnepesebb országainak gyors gazdasági növekedése és a termőképes földterületek csökkenése következében. Az emberek a jövedelmük emelkedésével együtt több húst és állati eredetű élelmiszert fogyasztanak, ami viszont egy egységes élelem előállításához több gabonát igényel. A bioüzemanyag-termelés gyors elterjedése pedig csak tovább nehezíti az élelem kontra üzemanyag versenyt.”

Részben ezzel is elismerve, hogy tennünk kell valamit a klímaváltozás megelőzése érdekében, a kormányok világszerte támogatni kezdték a bioüzemanyagok előállítását, hogy ezek fokozatosan átvegyék a hagyományos fosszilis üzemanyagok helyét. A gazdálkodókat arra ösztönzik, hogy elsősorban kukoricát, cukornádat, olajpálmat és repcétermesszenek, mert ezek mind etanol vagy más fenntartható üzemanyaggá alakíthatók át.

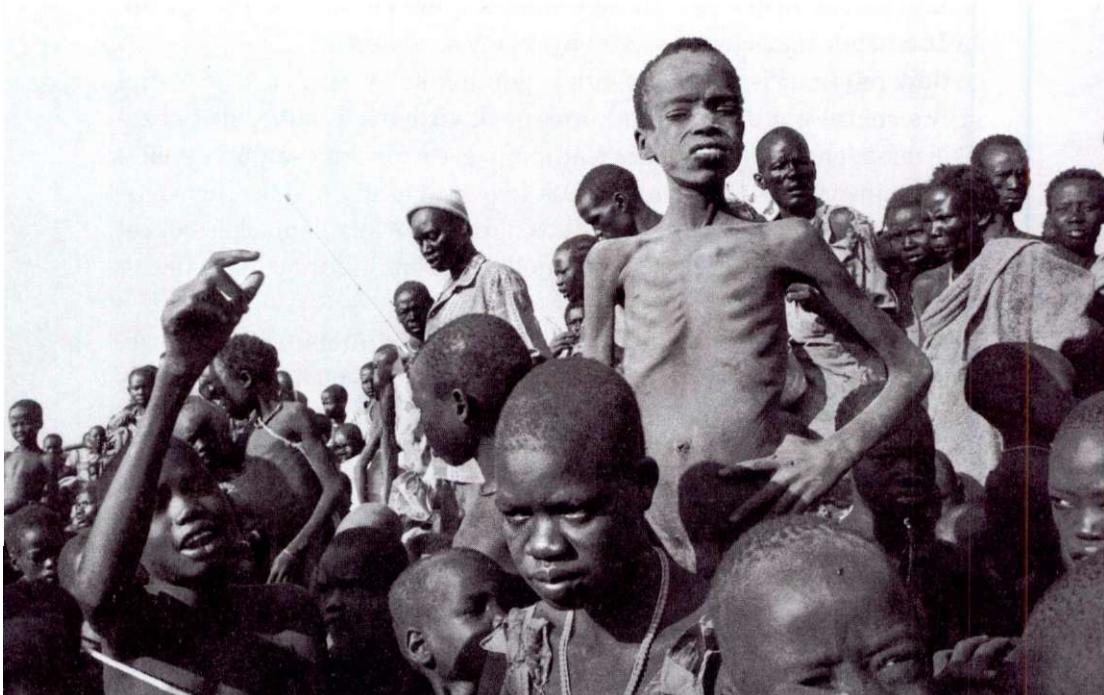
Az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériumának adatai szerint 2008-ban az országban termeszett kukorica és egyéb gabonák egy-negyedét használták fel etanol előállítására. A világ átlagos fogyasztási szintjét alapul véve ez a 107 millió tonna gabona 330 millió ember egyévi élelmezését biztosíthatta volna. A probléma még ennél is súlyosabba válhat, mivel George W. Bush elnök arra biztatta a farmereket, hogy

Az Egyesült Államok eddig soha mezési krízist idéz elő

bioüzemanyag-termelésüket 2017-re 500%-kal, azaz évente kb. 140 milliárd literrel növeljék, hogy ezáltal csökkentsék a kőolajimport mennyiségett. Brown szerint „az Egyesült Államok megfontolatlan igyekezetében, hogy a gazdaságának külföldi olajtól való függését gabonaalapú üzemanyagok előállításával csökkentse, eddig soha nem látott mértékű globális élelmezési krízist idéz elő”.

A Világbank egyik 2008-as jelentése is arra hívja fel a figyelmet, hogy az amerikai és európai kormányok bioüzemanyag-termelést támogató kampányainak hatására 75%-kal megemelkedtek az élelmiszerárak. Angliában drágább lett a kenyér, Mexikóban pedig egyre kevesebben engedhetik meg maguknak, hogy tortillát fogyasszanak. Ez a tendencia tüntetők ezreit viszi az utcákra a dél-mediterrán és észak-afrikai régió országaiban.

Gyerekek az 1998-as éhínség idején a dél-szudáni Ajiep mellett, az Orvosok Határok Nélkül (Médecins Sans Frontières) szervezet által működtetett élelemelosztó központnál.



Az élelmiszerhiány egy állam bukásához is vezethet

Ha a fenyegető élelmiszerhiány egyetlen következménye kizárálag a dráguló táplálék lenne, akkor ez is csak a fejlődést hátráltató tényezők egyike maradna. Az így kialakuló válságnak azonban egészen mélyreható társadalmi következményei is lehetnek. Brown szerint „az élelmiszerhiány és az ezzel járó drágulás a szegényebb országokat a káoszba taszíthatja. Az ilyen, ún. bukott államok járványokkal, terrorizmussal, illegális drogokkal, fegyverekkel és menekültáradattal fenyegetik az egész világot. A globális felmelegedéssel járó vízhiány, a talajerózió és az emelkedő hőmérséklet komoly korlátozó tényezői az élelmiszer-termelésnek, és ennek a három környezeti problémának a megoldására irányuló határozott és gyors közbeavatkozó lépések nélkül ... egy sor kormány bukása vesztélyeztetheti a világrendet.”

Egy bukott állam nem képes gondoskodni polgárai személyes biztonságáról és az olyan alapvető szociális szolgáltatásokról, mint az oktatás és az egészségügy, ráadásul az ország élelmiszer-ellátásában is komoly problémák jelentkezhetnek.

Brown szerint „többünk számára valószínűleg elképzelhetetlen a civilizáció ilyen szintű összeomlása. Hogyan is lehetne ennyire kiszabadni a megszokott hétköznapokból? Ekek óta tanulmányozom a mezőgazdaság, a népesség, a környezet és a gazdaság globális tendenciáit és kölcsönhatásait. Mindezek és az általuk generált politikai feszültségek a kormányok és társadalmak összeomlásához vezethetnek. Sokáig én magam sem értettem egyet azzal, hogy az élelmiszerhiány nemcsak egyes kormányok, de a teljes civilizáció végét is eredményezheti, de többé már nem vetem el ennek a lehetőséget. Folytonos kudarcaink azzal kapcsolatban, hogy megoldást találunk a világ élelmiszer-termelését aláásó környezeti katasztrófák elkerülésére - köztük a legfontosabbak: a talajvízszint csökkenése, a talajerózió és az emelkedő hő-

mérséklet - arra engednek következtetni, hogy egy effajta összeomlás igenis bekövetkezhet."

Azt gondolnánk, hogy az élelmiszerhiány sosem fogja elérni a nyugati jóléti társadalmakat, pedig ez nem így van. A bukott államok összeomlása globális következményekkel is jár, hiszen ezek az országok a terrorizmus, a drog- és fegyverkereskedelem és a menekültáradat kiindulópontjaivá válnak, állampolgáraik pedig nemcsak a szomszédos, de jóval távolabbi országok politikai stabilitását is veszélyeztethetik. Brown szerint az Egyesült Államok által bukott államnak tekinthető országok közül Szomália a kalózkodás bázisává, Irak a terrorizmus melegágyává, Afganisztán pedig a világ első számú heroin termelőjévé vált.

Az emelkedő élelmiszerárak állandó problémát jelentenek. Thaiföldön a falusiak éjjelente vadászpuskákkal kénytelenek őrizni a termést a rizstolvajoktól, Szudánban pedig rendszeresen kifosztják a gabonaszállító teherautókat.

Az egyes államok bukása a nemzetközi pénzügyi világban is érezteti a hatását, és a járványok globális terjedése is egyre nehezebben kezelhető. „Ha a fertőző betegségeket, mint például a gyermekbénulás, a SARS vagy a madárinfluenza, kordában tartó egészségügyi rendszerek is összeomlanak, az emberiség igen komoly bajba kerülhet - állítja Brown. - Ha az így összeomló országok száma elér egy bizonyos határt, bukásuk a teljes globális civilizáció stabilitását is veszélyeztetni fogja.”

Mit tehetünk?

Léteznek olyan technológiai megoldások, amelyek segíthetnek a problémán. A genetikailag módosított termények magasabb hozamot eredményezhetnek vagy képesek megteremni az alacsony víz- és tápanyagtartalmú talajon is. Jelenleg azonban egyetlen ilyen növény tesztelése

sem tart még abban a fázisban, hogy az elméleti lehetőségen túl a valóságban is megoldás lehetne.

A megoldások talán sokkal közelebb vannak, mint hinnénk. Az új technológiák alkalmazása helyett elgondolkodhatnánk a saját hozzáállásunk megváltoztatásán is, például jobban odafigyelhetnénk a talaj minőségének megóvására, vagy több búzát fogyaszthatnánk rizs helyett, ugyanis ez utóbbi termesztése jóval több vizet igényel.

A *Nature* egyik 2010-es vezércikke optimista hangot ütött meg az esélyeinket illetően. Állítása szerint a világ teljes népessége számára elegendő élelmiszer megtermelése önmagában könnyű feladat lenne, viszont mindezt a fenntarthatóság jegyében tenni már jóval nehezebb. „Több százmillió hektár vadnövényzet kiirtása - elsősorban Latin-Amerikában és Afrikában - vagy a jelenleg legelterjedtebb, erőforrás-igényes és a környezetet pusztító mezőgazdasági módszerek alkalmazása a lehető legrosszabb megoldásnak tűnik. A következő évtizedek valódi kihívása éppen abban rejlik, hogyan erősíthetnénk a mezőgazdaság teljesítményét anélkül, hogy jelentősen növelnünk kellene a felhasznált földterületeket.”

A *Nature* megoldást is javasolt a problémára: egy második zöld forradalmat, amelyet a Királyi Természettudományos Társaság úgy ír le, mint a „globális mezőgazdasági termelés fenntartható élénkítése”. Ez arra utal, hogy egyrészt olyan új terményeket kell találnunk, amelyek kevesebb vizet igényelnek és jobban ellenállnak a kártevőknek és a hőségeknek, másrészt minden területen meg kell oldanunk a kitermelt hulladék mennyiségenek csökkentését, mivel a világon termelt összes élelmiszer közel egyharmada végül kárba vész és a szemétben végzi.

„Ezeknek a céloknak az elérése elengedhetetlen ahhoz, hogy elkerüljük bukásunkat - állítja Brown. - Ennek ellenére a civilizáció megmentésére előirányzott költségek alig érik el az évi 200 milliárd dollárt, ami a jelenlegi fegyverkezési költségvetés egyhatodát teszi ki. Valójában [ez] lenne az új biztonsági költségvetés.”

Hogyan lehetséges, hogy egyszer csak elfogy a Föld teljes vízkészlete? Belegondolni is abszurd, hiszen a bolygónk nagy részét víz borítja. Az élet és minden ehhez kapcsolódó szolgáltatás (beleértve az élelem- és áramtermelést, ipart) alapvető feltételének tekintett víz mindenhol bőven a rendelkezésünkre áll, nem igaz?

Harc a vízáért



százszázegében nagyjából 33 millió km³ édesvíz található a Földön, ami több ezerszerese az emberiség által évente felélt mennyiségnek. Fejenként átlagosan kb. 1 m³ vizet iszunk meg évente, és ennek a százszázorosát használjuk el mosásra és egyéb célokra. Az évente elfogyasztott élelmiszer-mennyiség előállításához újabb 1000 m³ vízre van szükségünk.

Miért aggódnak mégis folyton a közelgő vízhiány okozta apokaliptikus miatt a kormányok és más globális szervezetek, mint például az Éghajlat-változási Kormányközi Testület vagy az ENSZ? Miért lesznek hamarosan egyre gyakoribbak a vízkészletek birtoklásáért folytatott harcok? Hogyan lehetséges, hogy az évszázad közepére emberek milibiliárdjai maradhatnak ivóvíz nélkül?

Ellentmondásosnak tűnik, de ennek ellenére kezdenek kiapadni a vízforrások. „Egy napon majd kíváncsi nosztalgiával fogunk visszatekinteni azokra az időkre, amikor a pazarló tulajdonosok teljesen feleslegesen folyékony arannyal öntöztek a földjüket, csak hogy füvet növesszenek rajta, amelyet azután fekete arany elégetésével működő gépekkel nyírnak rövidre hétvégenként - mondja Michael E. Webber, az austini Texasi Egyetem Nemzetközi Energia- és Környezetpolitikai Központjának (Center for International Energy and Environmental Policy, CIEEP) igazgatóhelyettese. - Gyerekeink és unokáink csodálkozni fognak ekkora ostobaság láttán.”

Víz, víz mindenütt... vagy talán mégsem?

A *Nature* egyik 2008-as vezércikke felvázolta az emberiség vízzel kapcsolatos alapvető problémáját. A fejlődő országokban az egymilliárdot is meghaladja azoknak a száma, akik nem jutnak tiszta ivóvízhez, és kétnyi milliárdnál is többen vannak azok, akiknek nincs lehetőségük rendes tisztálkodási lehetőségre. A közeljövőben a vízhiány más kulcsfona-

tosságú területeken is problémát fog okozni, például a mezőgazdaságban és az energiaszektorban.

Ennek a krízisnek részben a klímaváltozás az oka, mivel az emelkedő átlaghőmérséklet a világon többfelé is a föld kiszáradásához és kevesebb csapadékhoz vezet. A *Nature* szerint ráadásul a növekvő népesség is hatalmas nyomást jelent. „Ahogy az Indiához és Kínához hasonló országok egyre fejlettebbé válnak, a lakóik egyre inkább

1 milliárd ember megfelelő ivóvíz nélkül

áttérnek a nyugati társadalma-kán e^terje^dt fehérjedús táplálkozásra. Egyetlen kg marhahús előállításához 15 500 liter vízre van szükség, ami tízszerese az egy kg búza termesztéséhez szükséges mennyiségnek. Ezek az országok az energiafogyasztási szokásaikban is a fejlett világra jellemző mennyiség felé haladnak.”

Az Egyesült Államokban naponta 500 milliárd liter édesvíz fogy el villanyerőművek hűtésénél, ami a teljes édesvíz-felhasználás 40%-át teszi ki. Ugyanakkor mennyiséget vesz igénybe az ország öntözésre. „Mindez igen jelentősen befolyásolja a meglévő vízkészleteket. A globális energiaigény 2030-ra várhatóan 57%-kal fog emelkedni, az élelmiszer-termeléshez szükséges víz mennyisége pedig könnyedén megduplázódhat - írta a *Nature*. - 2050-re a világ megnövekedett népességenek élelmiszer-ellátása évente nagyjából 12 500 km³ vízmennyiséget emészt fel, ami megegyezik a Felső-tó térfogatával. A világon sok folyót és tavat már most is drámai mértékben vesznek igénybe: a Sárga-folyó Kínában nem mindig éri el az óceánt, az Egyesült Államok délnyugati részén fekvő Mead-tó pedig 2021-re ki fog száradni, ha nem korlátozzák a vízfelhasználást.”

Egy 2005-ben készült ENSZ-jelentés szerint 2050-ben több mint 4 milliárd ember él majd vízhiánnal küzdő országok területén. Ez az

érték 1995-ben még csak félmilliárd volt. A Nemzetközi Vízgazdálkodási Intézet (International Water Management Institute) 2006-os tanulmánya szerint a világ népességének egyharmada már most bizonytalan vízellátású területeken él, annak ellenére, hogy a hat évvel korábban egyszer már elvégzett hasonló vizsgálat szerint ennek csak 2025-ben kellett volna bekövetkeznie.

Az IPCC véleménye szintén nagyon határozott ebben a kérdésben. Mint írják, „globálisan a jövőbeli klímaváltozás édesvízkészletekre gyakorolt negatív hatásai valószínűleg meghaladják az előnyöket.

A 2050-es évekre a klímaváltozás miatt a vízhiányos régiók nagysága több mint a kétszerese lesz az

olyan területekének, ahol - éppen ellenkezőleg - csökken a vízhiány. Ott, ahol apadó vízhozamot diagnosztizálnak, értelemszerűen romlani fog a vízszolgáltatások minősége. A feltételezések szerint az éves vízhozam emelkedése bizonyos területeken a vízkészletek növekedéséhez vezet. Ugyanakkor elképzelhető, hogy sok más régióban ezt az előnyt ellensúlyozzák azok a negatív hatások, amelyeket a vízkészletekben, a vízminőségen és az árvízveszélyben okoz a változó állagú csapadék és a vízhozam évszakonkénti ingadozása.

A klímamodellek azt mutatják az évszázad hátralévő részére, hogy az üvegházhatású gázok által előidézett globális hőmérséklet-emelkedés hatására a csapadék mennyisége emelkedni fog a magasabb szélességi körök és a trópusi égöv bizonyos részein, viszont csökkenni fog a szubtrópusi és az alacsony és közepes szélességi körök régióiban, beleértve a Földközi-tenger környékét, az Egyesült Államok nyugati részét, Afrika déli részét és Északkelet-Braziliát. A szélsováges aszályok egyre gyakoribbak lesznek, és hatalmas területeken fogják előidézni a növényzet eltűnését - egyes elképzelések szerint az ezzel sújtott területek aránya 2100-ig a jelenlegi földterületek 1%-áról 30%-ra fog emelkedni.

A szélsováges aszályok egyre gyakoribbak lesznek, és hatalmas területeken idézik elő a növényzet eltűnését.

Mely területeket veszélyeztet a vízhiány?

2025-re Afrika keleti és déli részén 9 országban az évente egy főre jutó ivóvíz mennyisége alig fogja elérni az 1000 m^3 -t. Ezen a földrészen 12 további államban lesz ez a mennyiség évi $1000\text{-}1700\text{ m}^3$, és a vízhiány-nyal fenyegetett lakosság száma elérheti a 460 milliót is, elsősorban Nyugat-Afrikában. „Ráadásul egy becslés szerint a vízhiánnyal és a növekvő vízszűkösséggel sújtott afrikai népesség aránya a 2000-ben

Egy napon majd kíváncsi nosztalgiával fogunk visszatekinteni azokra az időkre, amikor a pazarló tulajdonosok teljesen feleslegesen folyékony arany-nyal öntöztek a földjüköt, csak hogy fűvet növesszenek rajta, amelyet azután fekete arany elégetésével működő gépekkel nyírnak rövidre hétvégenként.

lázódása olyan mértékű klímaváltozást fog előidézni, ami komoly áradásokhoz fog vezetni az esős évszakban és szélsőséges aszályokkal fenyget a száraz évszakban.

A rendelkezésre álló víz mennyisége Indiában előreláthatóan a 2001-ben mért évi egy főre jutó 1820 m^3 -ről 2050-re évi 1140 m^3 -re fog visszaszenni, pusztán a népességnövekedés miatt. Egy jóval pesszimistább el képzelés szerint India már 2025 előtt vízhiánnyal küzdő országgá válik, ami az IPCC meghatározása szerint annyit tesz, hogy a rendelkezésre álló víz mennyisége az egy főre jutó évi 1000 m^3 alá esik az éghajlati és demográfiai tényezők hatására.

Dél-Amerikában a vízhiányos (más szóval a fejenként évi 1000 m^3 -nél kevesebb vízkészettel rendelkező) területeken élők számát 1995-

becsült 47%-ról 2025-re 65%-ra fog emelkedni - közölte az IPCC 2008-ban kiadott, klímaváltozásról és vízhelyzetről szóló jelentésében. - Mindez a vízért folytatott háborúkhöz vezethet, elsősorban a száraz és mérsékelten száraz régiókban."

Vietnamban a Mekong delta-vidékén a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségének megduplázódása olyan mértékű klímaváltozást fog előidézni, ami komoly

ben 22,2 millióra becsülték a klímaváltozás hatásainak figyelembevétele nélkül. Ez a szám a 2020-as évekre feltehetően elérheti a 80 milliót is, a 2050-es évekre pedig 79-178 millió lesz.

A vízmennyiség csökkenése mindenhol érzékelhető. 1940-ben a bolíviai Chacaltaya gleccser területe 0,22 km² volt, ami 2005-re 0,01 km² alá csökkent. 1992 és 2005 között a gleccser elveszítette felszíni területeinek 90%-át és jégtömegének 97%-át.

Az eddig felvázolt problémákkal együtt az édesvíz hiánya az egészséget is veszélyezteti. „A gyermekek hasmenéssel járó megbetegedése és halandósága az alacsony jövedelmű országokban, különösen Afrika szubszaharai régióiban, továbbra is igen magas a fejlettebb gyógymódok és a szájon át történő folyadékpótlás (orális rehidrációs terápia, ORT) alkalmazása ellenére - szerepel az IPCC jelentésében. - A klímaváltozás várhatóan tovább növeli a vízhiányt, nehéz azonban megállapítani, hogy mindez milyen formában fog jelentkezni a háztartásokban a felhasználható víz szempontjából és hogy milyen hatással lesz az egészségre és a higiéniára nézve.”

Mit tehetünk?

Meglehetősen sokat, ami azt illeti: rengeteg lehetőségünk van takarékoskodni a vízkészletekkel anélkül, hogy az emberi egészséget vagy a gazdasági teljesítményt veszélyeztetnénk. „A vízfelhasználás hatékonyágának növelése minden szektorban lehetséges. Lehetőség van kevesebb vízfelhasználással, vízszenyezéssel nagyobb mennyiségű élelmiszert megtermelni, ha a megszokott árasztásos öntözést csepegtető és mikroszórós módszerrel váltjuk fel, és a talajnedvességre még jobban odafigyelünk, és optimális szinten tartjuk - írja Peter H. Gleick, a Pacific Institute elnöke a *Scientific Americanben*. - A hagyományos erőművek átállhatnának vízhűtésről szárazhűtésre, és jóval több áramot

termelhetnénk olyan erőforrások igénybevételével, amelyek rendkívül kevés vizet használnak fel, ilyenek például a napelemek és a szélerőművek. A háztartásokban emberek milliói cserélhetnék ki vízpazarló készülékeket, például a mosógépeket, a vécétartályokat és zuhanyfejet víztakarékosabbakra."

A *Nature* szerint a világ leginkább vízhiánnal sújtott részein a krízis enyhítésének egyik kulcsfontosságú tényezője az ún. zöld víz felhasználása lenne: ez a kifejezés az esővel átitatott talaj bőséges nedvességtartalmára utal, amelyet a növények gyökerei képesek felszínvíni. „Szakértők becslései szerint a szubszaharai Afrikához hasonló régióban, ahol a termés 95%-át esővízzel locsolják, csak a rendelkezésre álló csapadékmennyiségek 10-30%-át használják fel eredményesen. A maradék víz megkötésére javasolt eszközök minden szándékosan egyszerűek és hagyományosak: az esővíz összegyűjtése, a gyökerek mélyebbre ásása, a teraszos földművelés és a föld nagyüzemi felszántásának felváltása egyszerűbb földművelési technikákkal. Az így elérhető haszon hatalmas lehet. A Dél-Ázsiahoz hasonlóan erősen öntözött régiókban ugyanakkor ugyanilyen egyszerű vízfelhasználási megoldásokkal lehetne elérni, hogy kevesebb értékes *kék vizet*, azaz ivóvizet használjanak fel a mezőgazdaságban.”

A legnagyobb változásnak azonban a vízhez való viszonyulásunkban kellene bekövetkeznie. Nem tekinthetjük többé ingyenesen és korlátlanul hozzáérhető dolognak, amely az égből hull alá, és csak azért tölti fel az óceánokat és folyókat, hogy mi tetszőleges mennyiségben és célokra használhassuk fel. Ha mindezt megértjük, talán sokkal megfontoltabban bánunk vele, és így a jövőben is elegendő mennyiség áll majd a rendelkezésünkre.

A XXI. századi élethez elengedhetetlen nyersanyagok többnyire szabad szemmel alig láthatók. Felejtsük el a korábbi generációk által felhasznált követ, vasat és tüzet, hiszen manapság olyan anyaguktól függ az életünk, amelyek az elemek periódusos táblázatának legkevésbé is mert zugaiban rejtoznek. Nélkülük nem létezne az elektrotechnika, a gyógyszerek vagy a műanyag. Készleteink azonban ezekből is végesek

A nyersanyag-készletek kimerülése

indannyian tisztában vagyunk vele, hogy számítógépeink műanyagból és alumíniumból vagy acélból készültek, arról azonban kevesen tudunk, hogy legbelül sokkal különösebb anyagok parányi darabkái alkotják. Ezek teszik a mágneseket erősebbé, hogy a merevlemezeket még kisebbre lehessen építeni, a lézersugarakat hathatósabbá és pontosabbá, hogy bárhol könnyedén fel lehessen használni őket, és ezek gyorsítják fel az ipari kémiai reakciókat annyira, hogy a termékeket még olcsóbban állíthatnak elő. Nélkülük a mai modern társadalom sem létezne.

Mekkora problémával nézünk szembe?

Az ipari forradalom óta a nyersanyagok iránti igény ugrásszerűen megemelkedett. John E. Tilton, a Coloradói Bányászati Főiskola ásvány-ökonómusa szerint az emberiség az elmúlt évszázad során nagyobb mennyiségű alumíniumot, rezet, vasat, acélt, foszfátkőzetet, ként, szemet, kőolajat, földgázt, sót homokot és sóderkavicsot használt fel, mint a korábbiak során összesen. Állítása szerint mindenek nélkül a mai modern élet elképzelhetetlen lenne. A felhasználás mértéke pedig egyre nő.

Jared Diamond, a Kaliforniai Egyetem földrajzprofesszora és a *Háborúk, járványok, technikák (Guns, Germs and Steel)*⁶ és az *Összeomlás (Collapse)* szerzője úgy becsüli, hogy az Észak-Amerikában, Nyugat-Európában, Japánban és Ausztráliában élők átlagosan 32-szer nagyobb mennyiségű nyersanyagot (például kőolajat és fémeket) használnak fel, és hasonló nagyságrendű hulladékot (köztük műanyagot és üvegházhatású gázokat) termelnek, mint a fejlődő országokban élők.

A világ leggyorsabban fejlődő gazdasága, az 1,3 milliárd lakosú Kína kezdi elérni a nyugati társadalmak fogyasztási szintjét. Amennyiben ez így folytatódik, a világ inkább előbb, mint utóbb kifogy a készletekből.

„Kínában az egy főre jutó fogyasztás még mindig tizenegyszeresen elmarad a miénktől, de tételezzük fel, hogy eléri [az Egyesült Államok] szintjét - írta Diamond a *The New York Times* hasábjain. - Könnyítsük meg a dolgunkat azzal, hogy feltesszük: semmi egyéb nem történik, ami megnövelné a globális fogyasztást, azaz egyetlen másik országé sem emelkedik, minden állam népessége (köztük Kínáé) változatlan marad, és a bevándorlás is megszűnik. Kizárolag azáltal, hogy Kína behozza Amerikát, nagyjából megduplázná a világ fogyasztásának mértékét. Például a kőolaj-felhasználás 106%-kal nőne, a fémeké pedig 94%-kal.”

Ha Kína mellett Indiát is belevesszük a számításokba, a globális fogyasztás mértéke megháromszorozódna. „Amennyiben az összes fejlődő ország hirtelen felzárkózna, a világ fogyasztási mérőszámai a tizenegyszerükre ugranának - állítja Diamond. - Olyan lenne, mintha a világ népessége hirtelen 72 milliárdra emelkedne.”

A nyersanyagkészletek kimerülésének problémája elsősorban nem azokat az anyagokat érinti, amelyekre általában gondolnánk - például a kőolajra -, hanem főleg azokat, amelyekre mai modern technológiáink épülnek. A nyersanyagbiztonság kérdése kiemelkedően fontossá vált a XXI. század első évtizede alatt.

Vegyük például a héliumot, a világgeyetem második leggyakoribb elemét! Ennek két stabil izotópja, a hélium-3 és hélium-4 a kriogenika, azaz a halál utáni lefagyasztás nélkülözhetetlen alapanyaga. Ha szuperravezető mágnest szeretnénk előállítani, a hőmérsékletét megközelítőleg abszolút nulla fokig (-273 °C) kell lecsökkentenünk, ehhez viszont szuperhűtött héliumra van szükség. Igaz ugyan, hogy egyre nagyobb mennyiségen használják fel ezt az elemet, a Texas állambeli Amarillo

Ezek az anyagok, amelyek nagy része az elemek periódusos táblázatának legkevésbé ismert zugaiban rejtőznek, működtetik a mai modern társadalmunkat. Készleteink azonban ezekből is végesek.

közelében őrzött nemzeti héliumtartalék felett rendelkező amerikai kormány mégis mesterségesen alacsonyan tartja az árát. A folyékony hélium meglehetősen szokatlan viselkedését felfedező, Nobel-díjas

Robert Richardson szerint „25 éven belül - plusz-mínusz 5 év - kifogynak a világ héliumtartalékai”.

A nyersanyagkészletek kimerülésének problémája elsősorban nem azokat az anyagokat érinti, amelyekre általában gondolnánk - például a kőolajra -, hanem főleg azokat, amelyekre mai modern technológiáink épülnek.

Az ENSZ és az Európai Unió által alapított Öko-Institut egyik elemzésében felsorolta mindeneket a fémeket, amelyek a jövőben nélkülözhetetlenek lesznek a fenntartható technológiák alkalmazásában. Ide tartozik a tantál, az indium, a ruténium, a gallium, a germánium, a kobalt, a lítium, a platina és a palládium, amelyeket a zöld elektronikában és a napelemek és akkumulátorok gyártásában használnak fel.

A bányásztársaságok és fémkereskedők titkolozásának köszönhetően nehéz pontosan megállapítani, hogy ezek a kulcsfontosságú elemek milyen mennyiségen állnak a rendelkezésünkre a föld mélyén. Egyértelmű azonban, hogy nem végtelen a készlet, és az is világos, hogy a világ népességének növekedésével egyre inkább kifogynak majd a tartalékok.

A ritkaföldfémek

„A történelem során a politikai csatározások és nemzetközi háborúk hátterében gyakran az értékes erőforrások, például a kőolaj, a víz vagy az élelem megszerzése állt - szerepel a *Nature Photonics* folyóirat 2010. decemberi számának vezércikkében. - Most éppen a periodikus táblázat ritkaföldféméinek (nevük onnan ered, hogy először mélyen a föld

alatt található ritka ásványi anyagokon belül leltek rájuk) 17 eleme került a politikai viharok középpontjába, veszélybe sodorva a fotonikai (a fotonok előállításával és felhasználásával foglalkozó) iparágat."

Ezeknek az elemeknek a nélkülvilágosításra talán nem szembetűnő, mégis egészen más lenne az életünk nélküük, állítják a cikk szerzői. „Az olyan elemek, mint az erbium, az itterbium, az itrium, a neodímium, a túlium és az európium mind rendkívül fontos aktív összetevői a lézer alapú optikai erősítőknek. Egyszerűen fogalmazva, a ritkaföldfémek segítségével az egyébként gyenge kristályok, üvegszálak és vékony filmrétegek olyan anyagokká alakulnak át, amelyek képesek kibocsátani és felerősíteni a fényt.”

Más szóval, a ritkaföldfémek nélkülvilágosításra alkotóelemei a szupermarketek pénztáraitól az ūriklóig mindenhol megtalálható lézereknek. Ezenkívül felhasználják mágnesekben, akkumulátorokban és könnyűfémötövezetekben is. Különleges kémiai és fizikai tulajdonságaik révén jól alkalmazhatók a számítógépes merevlemezek, katalizátorok, mobiltelefonok, magas képfelbontású televíziók és napszemüvegek hatékonyiságának növelésére.

A technológia fejlődésével együtt emelkedik a fémek iránti kereslet is, felhasznált mennyiségeük az elmúlt évtized során megkétszerződött. A Toyota és Honda által gyártott, részben benzinnel, részben elektromosan meghajtott hibridautók több kilogrammot tartalmaznak ezekből az anyagokból, és a közeljövőben gyártásuk jelentősen emelkedni fog.

A nevükkel ellentétben a ritkaföldfémek nem is annyira ritkák. A Brit Földmérő Hivatal (British Geological Survey, BGS) egyik 2010-es jelentése szerint ezekből a fémekből nagyjából ugyanakkora mennyiség áll rendelkezésre, mint rézből és ólomból. A problémát a hozzáérhetőség és az igények kielégítése jelenti: Kína szinte teljes monopóliummal rendelkezik kibányászásuk felett. A világ becsült készleteinek 37%-a, azaz 36 millió tonna van a tulajdonában, ráadásul a teljes ki-

termelés 97%-a felett rendelkezik. A korábbi Szovjetunió utódállamai 19 millió tonnát birtokolnak, az Egyesült Államok 13 millió tonnát és ugyancsak jelentős tartalékokkal rendelkezik Ausztrália, India, Brazília és Malajzia is.

Az amerikai képviselőház annyira aggódik a ritkaföldfém-ellátás miatt, hogy azt tervez: törvényi úton szünteti meg az Egyesült Államok kínai importtól való függését. A kaliforniai Mountain Pass bányát 2002-ben zárták be környezetvédelmi és költséghatékonyiségi okokból, most azonban azt tervezik, hogy újra megnyitják a wyomingi Bear Lodge melletti és az alaszkai Bokán Mountain bányáival együtt.

Más, egyelőre kiaknázatlan források találhatók még Grönlandon, ahol becslések szerint a ritkaföldfémek iránti globális igény 25%-át kielégítő tartalékok lehetnek. Feltehetően Dél-Afrikában is rengeteg lelőhely található, ahogy Malawiban, Madagaszkáron és Kenyában is.

Mi történhet?

Jared Diamond arra figyelmeztet, hogy a fejlett és fejlődő országok közötti általános fogyasztásbeli kiegyensúlyozatlanság problémákhöz fog vezetni. „A harmadik világban élők érzékelik a különbséget az egy főre jutó fogyasztásban, bár azzal a legtöbben valószerűleg nincsenek tisztában, hogy ez az eltérés harminckétszeres - írta a *The New York Times*ban. - Amennyiben a felzárkózási esélyeket reménytelennek ítélik meg, csalódottak és dühösek lesznek, néhányan közülük terroristává válnak, de legalábbis megtűrik, sőt támogatják a terrorizmust. 2001. szeptember 11-től egyértelművé vált, hogy az Egyesült Államokat többé nem óvják meg az óceánok a világ többi részétől. Ujabb terroristámadások érik az Egyesült Államokat és Európát, talán Japánt és Ausztráliát is addig, amíg ez a harminckétszeres szorzó fennáll a fogyasztásbeli különbségekben.”

„A keveset fogyasztó emberek is szeretnék elvezni a jóléti társadal-mak életmódját. A fejlődő országok kormányai nemzeti politikájuk egyik elsődleges céljául általában az életszínvonal emelését szokták kitűzni. Az itt élők tízmilliói szeretnék követni az első világban élők életstílusát, ezért vándorolnak ki elsősorban az Egyesült Államokba, Nyugat-Európába, Japánba és Ausztráliába. minden letelepedés egy fejlett országban egyenként is növeli az ottani fogyasztás mértékét, bár a legtöbb bevándorlónak sohasem sikerül azonnal harminckétszeresre emelni a saját fogyasztási mutatóit.”

Mit tehetünk?

Az atomok nem bomlanak el, amikor a különböző készülékekbe be-építik vagy felhasználják ipari célokra (bár a hélium a légkörből a vi-lágűrbe távozik). Elméletileg a legritkább elemek is újra felhasználhatók, de időnként annyira szétesnek, hogy szinte hozzáférhetetlenné válnak.

Évente több mint 400 millió tonna fémet hasznosítanak újra világ-szerte. A japán Országos Anyagtudományi Intézet (National Institute for Materials Science) szerint tudósaiak képesek lennének még továb-bi értékes anyagokat kivonni az ország leselejtezett hi-tech készülékeiből: becslésük szerint kb. 6800 tonna arany (a vi-lág aranytartalékainak 16%-a), 60 ezer tonna ezüst (22%) és 1700 tonna indium (15,5%) található Japán „városi bányáiban”, azaz az újrahasznosítható készülékekben.

Újabb terroristámadások érik az Egyesült Államokat és Európát, talán Japánt és Ausztráliát is.

A helyettesítés más anyagokkal szintén fontos módszer lehet. Az el-múlt két évtized során a háztartásokban a hagyományos katódsugaras képernyőket felváltották a síkképernyők. Ugyanezeket alkalmazzák a

mobiltelefonokban és más eszközökben is. Mindezzel azonban egy komoly gazdasági nehézség is együtt jár, mert indiumot tartalmaznak, amely igen körülményesen kinyerhető anyag.

2002-ben Hideo Hosono és kollégái a Tokiói Technológiai Intézetben (Tokyo Institute of Technology) bemutatták, hogy az indiumot hogyan lehet timfölddel és mésszel helyettesíteni, lehetővé téve, hogy egy ritka fémet a jóval nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló alumíniummal, kalciúmmal és oxigénnel pótoljunk. Ehhez hasonlóan az olyan katalizátorok, mint a platina, a palládium, a ródium, az irídium és a ruténium vassal, rézzel, cinkkel és mangánnal helyettesíthetők.

Eiichi Nakamura és Kentaro Sato, a Tokiói Egyetem vegyészei szerint „a szén hatalmas mennyiségben és mindenhol a rendelkezésünkre áll, ráadásul rengetegfélle vegyülettel alakítható át. Ezért nagyon igérteles jelölt az alternatív anyagok összetevőjeként, hogy egy sor különböző funkciót lásson el. Úttörő példái ennek az organikus félvezetők, amelyeket az OLED-ekben (organic light-emitting diode, organikus LED-ek, fénykibocsátó diódák) és a vékony rétegű napelemeknél alkalmaznak. Mindezt figyelembe véve, a vékony rétegű szerves napelemek pozícióját a szilíciummalapú és az összetett napelemekkel összehasonlítva, nem csupán az energiapolitika, hanem az elemstratégia szempontjai alapján is mérlegelni kellene.”

Képesek vagyunk rá?

Nakamura és Sato szerint nem ez az első alkalom, hogy az emberiség olyan anyagok hozzáférhetőségének korlátaival szembesül, amelyek bizonyos alapvető elemeket tartalmaznak. „Nagyjából egy évszázaddal ezelőtt, amikor egyértelművé vált, hogy a nitrogéntartalmú műtrágyák hiánya élelmiszerhiányhoz vezethet, az akkori fejlett vegyészeti módszerek segítségével sikerült elhárítani a közelgő katasztrófát: a

Haber-Bosch-eljárással megmentették a világot a válságtól. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy az élelmiszer megtermeléséhez nélkülözhetetlen ammóniát és nitrátot a légköri nitrogénből állítsuk elő."

Jeffrey D. Sachs, a Columbia Egyetem Föld Intézetének (Earth Institute at Columbia University) igazgatója, és az ENSZ korábbi főtitkára, Kofi Annán különleges tanácsadója szerint a fenyegető gazdasági nehézségeket csak közösen cselekedve győzhetnénk le, erre azonban egyelőre nem sok jel mutat. Sachs azt írja a *Science*-ben, hogy „a fenttartható fejlődést biztosító jövőbeli technológiák finanszírozása csak töredékét tenné ki a jelenlegi fogyverkezési költségeknek, és ennek az összegnek csak elhanyagolható része irányul a világ legszegényebb rétegeinek egészségügyi, energiaellátási és környezeti szükségleteinek kielégítésére”.

Bár a ritkaföldfém-készletek kimerülése újabb konfliktusokhoz vezethet, minden ugyanakkor lehetőséget is teremthet egy álon valóra váltására, azaz újabb tudományos és technológiai területek felfedezésére. Diamond óvatosan optimista ezzel kapcsolatban, reményeit az utóbbi időben világszerte egyre tudatosuló környezetvédelmi szempontok támasztják alá. „A világ súlyos fogyasztási problémákkal néz szembe manapság, mindenek azonban megoldhatók lennének, ha úgy döntenénk.”

Az emberiségnek élelemre, vízre, energiára és nyersanyagokra van szüksége az életben maradáshoz. Rengeteg helyet igényelnek a városaink, gyáraink és termőföldjeink is. Mindezt a Föld biztosítja számunkra, fajunk túlélése pedig több százezer másik faj kiszorításával jár együtt.

Az ökoszisztema összeomlása

atalmas területű erdőket irtunk ki, kihalásszuk a tengeri halálomány jelentős részét, megmérgezzük és betonnal borítjuk be a szárazföldet. Tízezrével tasztítjuk az állat- és növényfajokat a kipusztulás szélére azzal, hogy kizsákmányoljuk őket az alapvető létszükségletekért, az energiahordozókért vagy egyszerűen csak az élőhelyért folytatott küzdelemben. Olyan mértékű tömeges kihalások idejét éljük, amihez csak a dinoszauruszok kora volt fogható, ezúttal azonban mi magunk vagyunk az előidézői.

A biodiverzitás ilyen mértékű csökkenése nemcsak a fákat ölelgető, madarakért aggódó környezetvédők problémája. A világon élő fajok eltűnése egész ökoszisztémákat tasztíthat pusztulásba és teljes összeomlásba. „Mindez az ökoszisztéma-szolgáltatások folytonosságát fenyegeti, ami viszont további veszélyeket jelent a biodiverzitásra és az ökoszisztémák egyensúlyára - jelentette ki a természetvédelmi jótékonysági szervezet, a Természetvédelmi Világalap (World Wide Fund for Nature, WWF) 2010-es Elő Bolygó Jelentésében (Living Planet), amely a teljes emberiség Földre gyakorolt hatásának, azaz ökológiai lábnyomának a leltára. - Az emberi társadalom olyan döntő mértékben függ az ökoszisztéma-szolgáltatásoktól, hogy ezek megszűnése világ-szerte minden egyes ember jólétét és fejlődését igen komolyan veszélyeztetheti a jövőben.”

A Földön évmilliárdos fejlődési folyamat során az élőlények olyan kifinomult hálózata jött létre, amelyben mindegyik túlélése a többieken áll vagy bukik. A világ állatai és növényei rendkívül összetett ökoszisztémát alkotnak, és mi, emberek sokkal szorosabban kötődünk és függünk a természettől, mint azt a legtöbben gondolnánk. Ha ez összeomlik, minket is magával ránt.

Mit teszünk a világgal?

Az emberiség sokféleképpen pusztítja a környezetét. Leromboljuk és feldaraboljuk a természetes élőhelyeket: erdők tűnnek el, hogy a területükön mezőgazdasági tevékenységet folytathassunk vagy városokat, gyárakat építhessünk; a folyókra óriási gátakat építünk, hogy vízerőműveket hozzunk létre, vagy biztosítani tudjuk a közelvi földek vízellátását. A vadon élő állatokat és növényeket is túlzottan kiszákmányoljuk az élelemért, a nyersanyagokért, gyógyszer-alapanyagként vagy éppen sportcélok ból. Egyik élőhelyről a másikra telepítve óriási problémákat okozunk az őshonos fajoknak, amelyek kénytelenek megküzdeni az erőforrásokért, vagy legyőzik őket a betolakodók által behurcolt körözök. A környezetszennyezéssel és a klímaváltozás előidézésével megmérgezzük és megváltoztatjuk az egész bolygó élővilágát.

A 2005-ben megjelent Millennium Ökoszisztemáma Értékelésben (Millennium Ecosystem Assessment) a tudósok arra a következtetésre jutottak, hogy az elmúlt 50 évben a biodiverzitás-változások jóval gyorsabban következtek be, mint bármikor korábban az emberiség történelme során, és a fő befolyásoló tényezők hatásai nem mutatták a csökkenés jelét.

„Olyan mértékű tömeges kihalások idejét éljük, amelyek közel tízezreszeresen meghaladják az őskövületek bizonyítékaival alapján feltételezhető korábbi eseteket - állította Stephen Petranek, a *Discover* folyóirat volt szerkesztője a TED (Technology, Entertainment and Design) számára készített előadásában. - Az elmúlt 20 év során a különleges fajok 25%-a tűnt el Hawaiiról, Kaliforniában pedig várhatóan 255 faj pusztul ki az elkövetkező 40 évben. Valahol Amazoniában van az utolsó, ún. marginális fa, amelynek kivágásával az egész esőerdő ökoszisztemája visszafordíthatatlanul összeomlik. Ez a fa tényleg létezik, és minden valóban bekövetkezhet. És amikor ez a rendszer szétesik, egy jóval nagyobb ökoszisztemát is magával ránthat, mégpedig a bolygó teljes atmoszféráját.”

2010-ben a WWF jelentést készített a világ biodiverzitásának állapotáról. A trópusokon egész fajok populációi tűnnek el a süllyesztőben, miközben az emberiség igénye a természetes erőforrások iránt radikális mértékben emelkedik. Az Élő Bolygó Jelentés szerint a Föld természeti erőforrásainak másfél szerves mennyiséget használjuk el.

Az elmúlt 40 év során természetes környezetünk felélése megduplázódott, miközben az Élő Bolygó Index - a több mint 2500 tengeri, folyami és szárazföldi faj közel 8000 populációjában mért csökkenés, illetve növekedés arányszáma - a trópusokon 60%-kal, az egész bolygón pedig 30%-kal csökkent.

„Az alacsony jövedelmű, többnyire trópusi országokban ijesztő mértéket öltehet a biodiverzitás vesztesége, míg a fejlett országok egyfajta hamis jólétként élnek, amelyet túlzott fogyasztás és magas szén-dioxid-kibocsátás jellemzi” - közölte Jim Leape, a WWF International főigazgatója a 2010-ben kiadott jelentés kapcsán.

A legnagyobb mértékű pusztulás a biodiverzitásban a legalacsonyabb jövedelmű országokban történik, itt az elmúlt 40 évben csaknem 60%-os általános visszaesés volt tapasztalható.

A WWF a jóléti államok fenntarthatatlan fogyasztását okolja mindenért, amely során a szegényebb országok természeti erőforrásai is kiemerülnek. A jelentés szerint az egy főre eső legnagyobb ökológiai lábnyommal rendelkező első 10 ország: az Egyesült Arab Emírségek, Katar, Dánia, Belgium, az Egyesült Államok, Észtország, Kanada, Ausztrália, Kuvait és Írország. Ráadásul a világ leggazdagabb országait tömörítő Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 31 tagállama felelős a globális ökológiai lábnyom 40%-áért. Kétszer annyi ember él az olyan feltörekvő országokban, mint Brazília, Oroszország, India és Kína,

Valahol Amazonjában van az utolsó, un. marginális fa, amelynek kivágásával az egész esőerdő ökoszisztemája visszafordíthatatlanul összeomlik.

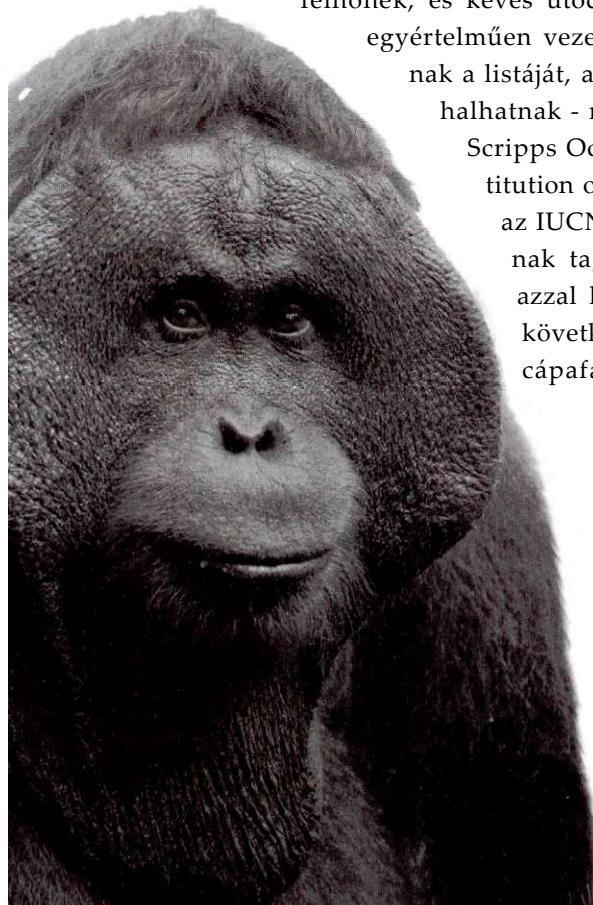
ezeknél az egy főre jutó ökológiai lábnyom mérete valószínűleg meg is haladná az OECD-országokra jellemző értéket, amennyiben elérnek ugyanazt a fejlettségi szintet.

Ha a Föld készleteit továbbra is ilyen ütemben éljük fel, 2030-ra két-bolygónyi erőforrás-mennyiségre lesz szükségünk, hogy az igényeket évről évre kielégíthessük. „A jelentés szerint a jelenlegi fogyasztási tendenciák megőrzése esetén el fogunk jutni egy olyan pontra, amikor a folyamat már visszafordíthatatlanná válik. Ahhoz pedig, hogy a teljes népesség az átlagos amerikai állampolgár életszívnonalán élhessen, a Föld 4,5-szeresére lenne szükségünk” - állítja Leape.

Mi fog eltűnni?

2010-re az északkelet-vietnami Cat Ba szigetén élő fehérfejű langur populációja alig 60-70, a keleti szürkebóbitás gibboné pedig kb. 110 egyedből állt. Madagaszkáron 100-nál is kevesebb északi fürgemaki maradt. A szumátrai orangutánpopuláció már csak 6600 állatot szám-lál élőhelyük szétdarabolása és az erdőirtások miatt, mivel ezeket a területeket mezőgazdasági felhasználásra szánják, például olajpálma-ültetvényeket hoznak létre rajtuk.

A Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) számításai szerint a világ főemlősfajainak csaknem felét - beleértve az emberszabásúkat, a majmokat és a makikat - a kihalás fenyegeti a trópusi esőerdők kiirtása, illegális vadászatuk és kereskedelmük miatt. A főemlősök helyzete Madagaszkártól Afrikán és Ázsián keresztül Közép- és Dél-Amerikáig mindenhol kétségbetű - a világ 634 főemlősfajának 48%-a veszélyeztetett, sok közülük a kihalás szélén áll. Amikor egy populáció már nagyon kevés egyedből áll, bármilyen természeti csapás végzetes lehet - egy trópusi ciklon könnyedén elpusztíthatja az utolsó pár száz állatot.



A tengerek mélyén a cápák száma is rohamos mértékben fogyatkozik. Az elmúlt 30 év során a csipkés pörölycápák 99%-a tűnt el a világ tengereinek egyes területeiről, és globálisan veszélyeztetett fajként szerepel az IUCN Vörös Listáján, amely több mint 130-féle cápafajt említ. Az 1970-es évek eleje óta az Atlanti-óceán északnyugati részén élő populációk átlagosan 50%-kal csökkenek. 2007-ben 21 halásznemzet összesen több mint 10 ezer tonna cápát fogott ki a tengerekből. E szám 42%-áért az első öt ország felelős: Indonézia, India, Tajvan, Spanyolország és Mexikó.

A cápák azért is nagyon sebezhetők, mert évtizedekbe telhet, mire felnőnek, és kevés utódot hoznak a világra. „A cápák egyértelműen vezetik azoknak a tengeri halfajoknak a listáját, amelyek még a mi életünkben kíhalhatnak - mondja Julia Baum, a kaliforniai Scripps Oceanográfiai Intézet (Scripps Institution of Oceanography) munkatársa és az IUCN cápákkal foglalkozó csoportjának tagja. - Ha így folytatjuk tovább, azzal kell szembenézünk, hogy az elkövetkező évtizedek során ezeknek a cápafajoknak egy része kipusztul.”

Az orangután Ázsia egyetlen ember-szabású majma, amelynek két alfaját különböztetik meg: a képen is látható borneói orangutánt (*Pongo pygmaeus*), illetve a vörösebb szőrű szumátrai orangutánt (*Pongo abelii*). Környezetvédők szerint a szumátrai alfaj a súlyosan veszélyeztetett kategóriába, a borneói pedig a veszélyeztetett kategóriába tartozik.

Számtalan egyéb példa van még arra, hogy az emberi terjeszkedés hogyan veszélyeztet növény- és állatfajokat: a tigrisek, a korallzátonyok, a gorillák, az északi szélesszáljú orrszarvúk, az axolotlok, a kérgesteknősök, a kínai aligátorok, a hawaii hollók és hópárdúkok csak néhány faj az érintettek közül.

Mi köze mindehhez az emberiségnek?

Az elmúlt évtizedek mértékterületen halászata a világ óceánjaiban élő cápa-állomány 90%-ának eltűnésséhez vezetett, ez a szám az Egyesült Államok keleti partjainál 99%. Ennek következményei márás megmutatkoznak az emberek életében. A cápák számában 2000-ben bekövetkezett hirtelen csökkenés zsákmányállata, a tehénorrú rája gyors elterjedéséhez vezetett az Egyesült Államok partjainál. A ráják 2004-ben megtizedelték az Észak-Karolina környéki fésűskagyló-populációkat, ami olyan súlyos veszteséget jelentett az ottani halászat számára, hogy végül ez a több mint egy évszázada működő helyi gazdasági tevékenység

és megélhetési forrás egyszerűen megszűnt.

ELŐ BOLYGÓ INDEX: A FAJOK POPULÁCIÓINAK CSÖKKENÉSE AZ ELMÚLT 40 ÉVBEN

60% a trópusokon

30% **globálisan**

Costa Ricában jól ismert tény, hogy az erdők közelében fekvő kávéültetvényeken jobb minőségű kávé terem és akár 20%-kal is magasabb lehet a terméshozam. Az er-

dősi területek által biztosított beporzó tevékenység farmonként évente 60 ezer dolláros többletjövedelmet jelent.

A WWF szerint az Ecuador fővárosa, Quito vízellátásának 80%-át biztosító három védett területet emberi beavatkozás, azaz fakitermelési és földművelési tevékenység veszélyezteti.

A WHO szerint az állati és növényi eredetű, mikroorganizmusokból származó természetes vegyületek fontos forrásai az emberi betegségeket gyógyító szereknek. A jelenleg orvosi célra felhasznált vegyületek fele természetes eredetű, ilyen például az aspirin, a digitálisz (gyűszűvirág)-készítmények és a kinin.

Visszafordíthatjuk ezt a fajpusztulást?

A WWF arra figyelmeztet, hogy a fogyasztás jelenlegi mértéke és a természetes környezet pusztítása 50 éven belül az ökoszisztéma összeomlásához fog vezetni. „Fogyasztásunkat a természet regenerálódási és hulladékkelnyelő képességéhez kellene igazítanunk. Ha ezt nem tesszük meg, visszafordíthatatlan károkat fogunk okozni” - álítja Leape.

Több nemzetközi összefogás is előkészületben van, amelyek célja az eddigi veszteségek egy részének megfélezése. Az ENSZ REDD-programja (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Dégradation in Developing Countries, azaz erdőirtásból és erdőpusztulásból származó kibocsátások csökkentése a fejlődő országokban) a klímaváltozás ellen küzdő egyik globális megoldás egyebek között a csökkenő főemlős-populációk megmentésében is kulcsfontosságú szerepet játszik. A lényege az, hogy a gazdag országok fizetnének a fejlődő országoknak azért, hogy ne irtsák ki az erdőiket, amelyek így nagyobb mennyiségű szén-dioxidot kötnek meg és kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki. Ennek az elképzelésnek egy továbbfejlesztett verziója szerint a fejlődő országok további ösztönzőkben részesülnek, amennyiben több fát ültetnek és növelik erdeik területét.

2010-ben közel 200 ország környezetvédelmi minisztere reagált a katasztrófális helyzetre, és megállapodtak a dinoszauruszok kihalása óta a legnagyobb mértékű fajpusztulás megállítására törekvő tervekben.

A Japánban, Nagoyában tartott csúcshalálkozón megegyeztek, hogy 2020-ra felére csökkentik a természetes élőhelyek lerombolását és a természetvédelmi területek méretét a Föld teljes területének 17%-ára emelik; ez a szám jelenleg kevesebb mint 10%. Ezek a Nagoyával szomszédos területről elnevezett Aichi célok a tenger élővilágának is több menedéket biztosítanának, mivel e védett zónák előirányzott aránya a világ óceánjainak 10%-át fedné le a jelenlegi 1% helyett.

Az Aichi célok 2020-ban lépnek majd hatályba, és addig minden aláíró köteles saját nemzete biodiverzitásra vonatkozó terveit felvázolni. Ezek együttesen remélhetőleg véget vetnek többek között a túlhalászásnak, elősegítik a környezetszennyezés mérséklését és megfékezik a betolakodó fajokat.

Egy dolog azonban megegyezni a közös célokban, és megint más meg is valósítani azokat. A Nagoyában született megoldási javaslatok elfogadását követően George Monbiot környezetvédelmi újságíró meg-lehetősen szkeptikus véleményt fogalmazott arról, hogy változtat-e minden bármin is. „A tervezet a kormányok által elfogadott 2020-as célokra »globális szintű törekvésekkel« és »rugalmat kérőként« tekinthető, amelyen belül az országok azt tesznek, amit jónak látnak. Elfogadását követően egyetlen kormányt sem köteleznek arra, hogy bármit is változtasson a politikáján” - írta.

A kormányok ahelyett, hogy a bolygóink csodáit igyekeznének megóvni, azt a világot felzabáló rendszert védik, amelyért mindeneket feláldozzuk.

„Megdöbbent, hogy a kormányok ahelyett, hogy a bolygóink csodáit igyekeznének megóvni, azt a világot felzabáló rendszert védik, amelyért mindeneket feláldozzuk; nem az életet támogatják, hanem az azt kiszorító mulandó szemetet. Makacsul és a legmagasabb szinteken küzdenek a jogukért, hogy az esőerdőket papírpéppé, a tengeri ökoszisztemákat pedig halhússá alakíthassák át. Majd elküldenek egy közepes rangú köztisztviselőt,

hogy aláírjon egy értelmetlen, még írásba sem foglalt ígéretet a természetes környezet megóvásáról."

Monbiot szerint a kormányoknak kifejezetten kedvez, ha hagyják, hogy szemétdombbá változtassuk a Földet. „Nem csak arról van szó, hogy a nagyvállalatok többet nyernek, mint veszítenek azon, ha a természeti értékeket pénzzé teszik. A folyamatos terjeszkedés a bioszférán belül lehetővé teszi az államoknak, hogy kikerüljék a javak újrafelosztásának és a társadalmi igazságosság kérdéseit: a véget nem érő növekedés ígérete lecsillapítja az egyre nagyobb egyenlőtlenség miatt érzett dühöt. A természet letárolásával elkerülhetjük, hogy a hatalommal rendelkezők érdekeit sértsük. A Japánban tartott csúcstartálkozón előterjesztett nagyszabású számadás megpróbált változtatni ezen a helyzeten.”

Az ökoszisztémákat továbbra is nagy veszély fenyegeti, és ez olyan probléma, amelynek a megoldását már rég el kellett volna kezdenünk.

A klímaváltozás egyik legegyértelműbb bizonyítéka a tengerszint emelkedése. A tudósok minden megtesznek, hogy kiderítsék: milyen gyorsan, mekkora mértékben és mely területeken lesz leginkább érzéklehető a hatása, ahoz azonban semmi kétség nem fér, hogy tengereinkre és óceánjainkra már is jelentős befolyássá varv^

Tengerszint-emelkedés

z alacsonyan fekvő területek világszerte fokozatosan víz alá kerülnek, egyre gyakoribbá válnak a viharok, a tengerparton fekvő városokat pedig egyre többször öntik el a hatalmas áradások. A rossz hír az, hogy minden még csak a kezdet. A klímaváltozás jóval súlyosabb csapásokkal fenyegeti elsősorban a tengerparti lakosokat, de a szárazföld belsejében élők is komoly következményekkel számolhatnak talán már ebben az évszázadban.

Ismert tény, hogy a globális felmelegedés következtében az elkövetkező évszázadban világszerte emelkedni fog a tengerszint, ésazzal is tisztában vagyunk, hogy ez emberek milliói számára halált, pusztulást és megélhetésük megszűnését jelenti.

A Föld felszínén elterülő vízmennyisége bőven elegendő lenne a teljes emberiség vízbe fulladásához. Ami még ennél is rosszabb, hogy a legnagyobb és legfontosabb nagyvárosaink mind óceánok, tengerek és folyók partjaira épültek. Egy jelentősebb vízszintemelkedés mindenannyiunk életét megváltoztatná. Minél magasabb a tengerszint, annál kevesebb az élelemtermelésre alkalmas földterület, hevesebb viharok alakulnak ki, és végül erősen megfogyatkozik az emberiség. A kérdés csak az, hogy mi milyen mértékben járulunk hozzá ahhoz, hogy a Földön minden végbenmenjen.

Mi okozza a tengerszintváltozást?

A víz három különböző halmazállapotban található meg a Földön: a legelterjedtebb a folyékony állapota, amely megtölti a tengereket, óceánokat és a partokat nyaldossa; másik formája a levegőben lévő vízpára; végül előfordul még az egész kontinenseket beborító és az óceánok felülein úszó hatalmas jégtáblák alakjában. E három egyensúlya rövid távon a helyi hőmérséklettől és időjárástól függ, hosszú távon viszont az adott éghajlat és a bolygó körüli energiaáramlás függvénye.

Az óceánok víztérfogata két okból nőhet meg: egyrészt a folyékony halmazállapotú víz térfogata hő hatására tágulni kezd, másrészt a jég-

GLOBÁLIS TENGERSZINT-EMELKEDÉS

1880 óta

20 cm világszerte

táblák olvadása miatt egyszerűen megnő a víz mennyisége a tengerekben. Az elmúlt évszázad során mindenkét változás beindult, részben a természetes körforgás részeként, de a fosszilis tüzelőanyagok égeté-

sével és a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok mennyiségének emelkedésével az ember által előidézett globális felmelegedés is a folyamat elemévé vált.

„Az árapálymérő állomások által rögzített értékek világszerte azt mutatják, hogy a globális tengerszint 1880 óta átlagosan majdnem 20 cm-rel emelkedett - állítja Stefan Rahmstorf, a Potsdami Éghajlati Hatáskutató Intézet (Potsdam Institute for Climate Impact Research) klímakutatója és oceanográfusa. - 1993 óta a tengerszintet műholdak segítségével meglehetősen pontosan mérik, és az adatok azt mutatják, hogy a tengerszint évtizedenként 3,2 cm-rel emelkedik.”

A világ egyik legnagyobb összefüggő jégtáblája az Északi-sarkkor közelében található, Grönlandon. Ezt a hatalmas szigetet nem mindig borította jégtakaró - nagyjából 60 millió évvel ezelőtt a Föld felszíne jóval melegebb volt a jelenleginél, Grönland pedig füves tundra volt, amelyet ősemelősök népesítettek be. A jelenlegi, helyenként akár 3 km vastagságú jégtakaró a legutóbbi jégkorszak során alakult ki kb. 20 ezer évvel ezelőtt, és azért nem tűnt még el, mert a Föld átlaghőmérséklete azóta sem érte el azt a mértéket, amitől elolvadhatott volna. Az időközben a környező tengerekbe olvadó jég mennyiségét az évente hulló csapadék mindenig pótolta.

Grönland egyensúlyi helyzete azonban mostanában veszélybe került. Az erre az évszázadra jósolt legpesszimistább klímaváltozási forgatókönyv szerint a Grönland környéki átlaghőmérséklet 2100-ig akár

8 °C-kal is emelkedhet. Ha jégmennyisége teljes mértékben elolvadna, a globális tengerszint kb. 7 m-rel emelkedne meg.

Még abban az esetben is eltűnne a jégtakaró jelentős része, ha csak 3 °C-kal emelkedne meg Grönland átlaghőmérséklete, bár igaz, hogy nagyon hosszú időbe - kb.

1000 évbe - telne, míg a jég teljes mennyisége elolvadna. 2004-ben Jonathan Gregory, a Readingi Egyetem munkatársa kimutatta, hogy 2100-ra az üvegházhatású

gázok koncentrációja a léhkörben nagy valószínűsséggel eléri azt az érteket, aminek következtében a globális átlaghőmérséklet meghaladja ezt a felmelegedési küszöbértéket.

A bolygó másik végén egy ennél is nagyobb területű kontinens terül el: az Antarktisz. Összességében sokkal stababb, mint Grönland, de ha csak a nyugat-antarktiszi jégtakaró egy kis része olvadna el (ami nem elképzelhetetlen, tekintve az elmúlt évtizedben bekövetkezett jelentősebb jégomlásokat), a globális tengerszint akkor is 5 m-rel emelkedne meg.

Nem szorul magyarázatra, hogy a globális felmelegedés következetében egyre nagyobb mennyiségű jégdarabok hullanak és olvadnak a tengerekbe, amitől viszont folyamatosan emelkedni fog az átlagos tengerszint. Ha a világban az összes jég - nemcsak Grönlandon és az Antarktiszban, de minden hegységen - elolvadna, az eredmény katasztrofális lenne. „A Grönland és Antarktisz szárazföldi területeit borító jégtáblák elegendő vizet tartalmaznak, hogy a globális tengerszintet több mint 60 m-rel megemeljék” - állítja Robin Bell, a Columbia Egyetem Lamont-Doherty Föld Obszervatóriumának (Columbia University's Lamont-Doherty Earth Observatory) Antarktisz-szakértője. Egy ilyen mértékű tengerszint-emelkedés megtizedelné a világ nagyvárosait és lakosságuk nagy részét is.

Egy ilyen mértékű tengerszint-emelkedés megtizedelné a világ nagyvárosait és lakosságuk nagy részét is.

Mely területeket veszélyezteti leginkább a vízszint megemelkedése?

A globális tengerszint-emelkedés minden alacsonyan fekvő területre és minden tengerpart közelében előre veszélyt jelent. Az olyan nagyvárosok, mint London és New Orleans, már most is védelemre szorulnak a vihardagályokkal szemben, és még hatékonyabb segítségre lesz szükségük, ha megemelkedik a tengerszint. 1 m emelkedés elárásztaná az Egyesült Államok keleti partjának városait, 6 m következtében pedig Florida nagy része víz alá kerülne.

Alig pár méteres tengerszint-növekedés esetén az olyan helyek, mint például a Maldív-szigetek, Tuvalu (amelynek legmagasabb pontja jelenleg 4 m-re emelkedik ki a tengerből) és tucatnyi sziget a Csendes-óceánban teljes mértékben víz alá kerülnének.

Nicholas Stern, a London School of Economics munkatársa a klímaváltozás hatásainak gazdasági elemzésében kiszámította, hogy nagyból 200 millió ember él a jelenlegi tengerszint feletti 1 m-en belül.

200 millió ember él a jelenlegi tengerszint feletti 1 m-en belül.
A világ 10 legnagyobb városából 8 érintett.

A világ 10 legnagyobb városából 8, a fejlődő országok összes nagyvárosa érintett.

„Miami vezeti a világ legveszélyeztetettebb városainak listáját, amelyet az alapján állítottak össze, hogy egy nagyból egyméteres tengerszint-emelkedés esetén mi-

lyen értékű tulajdon kerülne veszélybe - közölte Rob Young, a Nyugat-karolinai Egyetem földtani tudosa és Orrin Pilkey a Duke Egyetemről. - Egy ilyen esetben Miami Beach teljes területe víz alá kerülne, Miami belvárosa pedig szigetként emelkedne ki a tengerből, elvágva Florida többi részétől." Olyan amerikai városok vannak még veszélyben, mint New York, Newark, New Orleans, Boston, Washington, Philadelphia és San Francisco. Észak-Amerikán kívül még Oszakának, Kobénak,

Tokiónak, Rotterdamnak, Amszterdamnak és Nagoyának kell áradásokkal és tengerszint-emelkedéssel szembenéznie.

Vivien Gornitz, a Columbia Egyetem Éghajlatrendszer Kutató Központjának (Center for Climate Systems Research) munkatársa kiszámította, hogy az emelkedő vízszintű óceánok közel 2400 km partvonalat lepnének el New Yorkban és környékén, amely nagyjából 20 millió ember otthonául szolgál. Gornitz szerint „a XX. század során New York városában a tengerszint már 27 cm-rel megemelkedett, New Jersey partjai mentén pedig 38,5 cm-rel. Ezek a helyileg mért értékek meghaladják az évszázadra vonatkozó globális 10-25 cm-es átlagot a keleti part lassú süllyedése miatt, amit a legutóbbi, kb. 15 ezer évvel ezelőtti eljegesedés során keletkezett jégmennyiséget követő kéregmozgások idéznek elő. A jelenlegi tengerszint-emelkedés azonban többszörösen is felgyorsulhat a magas hegységeki és sarkvidéki gleccserek olvadása miatt, illetve az óceánok felszíni rétegeinek felmelegedése és kitágulása következtében, amit a globális felmelegedés okoz.”

Az emelkedő tengerszint hatására a vihardagályok és veszélyes árvizek is egyre gyakoribbá válnak. Az árvizek súlyosságát gyakran aszerint határozzák meg, hogy mennyi a valószínűsége annak, hogy százévente csak egyszer fordulnak elő. A XXI. század elején egy hasonló veszélyességű árvíz New York környékén majdnem 3 m-rel haladná meg az átlagos vízszintet, és elpusztítaná a teljes várost és környékét. Gornitz szerint a tengerszint-emelkedés következtében akár kisebb dagályok is képesek lennének százévente egyszer árvizet előidézni. A 2080-as évekre, a jelenlegi tengerszint-emelkedést alapul véve, egy ilyen katasztrófa valószínűsége a kétszeresére nőne, azaz ötvenévente egyszer, a legrosszabb esetben viszont már négyévente bekövetkezne.

Kelet-Ázsiában 18 millió ember él a Mekong folyó deltavidékének Vietnam felé eső részén, ami az ország népességének kb. az egyötödét teszi ki, és ide tartozik a megművelt földterületek több mint 40%-a. Az ország rizsszükségletének fele itt terem meg, és erről a vidékről szár-

mazik a kifogott halak és tengeri állatok 60%-a és a gyümölcs termés 80%-a. 1 m tengerszint-emelkedés 7 millió embert, 2 m pedig kétszer ennyi embert tenne földön futóvá, az egyre nagyobb mértékű árvizek pusztító, soha nem tapasztalt hatásairól nem is beszélve. A kormány, tekintettel a közelgő változásokra, már most megkezdte a Mekong folyó főága mentén fekvő An Giang tartomány lakosainak kiköltözöttetését.

Mennyi a valószínűsége mindennek?

2007-ben az Éghajlat-változási Kormányközi Testület közzétette negyedik jelentését a globális felmelegedés hatásairól, amelyben többek között arról írnak, hogy 2100-ra a tengerszint átlagosan 180-590 mm-rel emelkedhet meg. Egy ezt kiegészítő, a jégtáblák mozgását és olvadását még előrehaladottabb modellek felhasználásával vizsgáló kutatás szerint a század végére várható vízszintemelkedés akár duplája is lehet az IPCC becsléseinek, sőt ennek a felső határa valószínűleg 2 m körül lesz.

A XX. század során a tengerszint-emelkedést elsősorban az óceánok vizének hőtágulása idézte elő, a magas hegységek és óriási jégtáblák olvadó gleccserei csak kismértékben járultak hozzá a változáshoz. „A legtöbb éghajlatkutató szerint azonban a XXI. századi tengerszint-emelkedés fő oka a nyugat-antarktiszi jégtábla (a teljes jégtábla elolvadása nagyjából 5 m vízszint-emelkedéshez vezetne) és a grönlandi jégtábla (a teljes jégsapka elolvadása kb. 6 m-es növekedést eredményezne) olvadása lesz - állítja Young és Pilkey. - Az olvadás ráadásul nem lineáris, ezért nehéz előre megjósolni.”

Az elmúlt években a tudósok egy további nehezítő tényezővel szembesültek. A jégtáblák alatt folyók, tavak és olvadékvíz komplex rendszerei bújnak meg, amelyek mindegyike akár hatalmas jégtömböket

is képes az óceán irányába sodorni. „Évezredeken át az elolvadó jég mennyiségettől az évente hulló csapadék mennyisége pótolta - mondja Robin Bell. - Amikor azonban a felmelegedő levegő vagy a felszíni olvadékvíz további olvadást idéz elő vagy eltávolítja a természetes akádályokat, hatalmas mennyiséggű jég indulhat el a tengerek irányába. A klímaváltozás hatására kialakuló tengerszint-emelkedés lehetséges modelljei eddig figyelmen kívül hagyták a szubglaciális olvadékvíz hatásait a tengerbe ömlő jég mennyiségrére.”

Kijelenthetjük, hogy a globális tengerszint a vártnál jóval gyorsabban emelkedik. „Egy 20 nemzetközi szakértőből álló bizottság, amelyet a holland kormány azért hívott össze, hogy megtervezzék a partok védelmét, nemrég 55-110 cm-es tengerszint-emelkedést játszott 2100-ra - mondja Stefan Rahmstorf. - Ugyanez a bizottság arra is felhívta a figyelmet, hogy a tengerszint-emelkedés nem fog megállni 2100-ban. Amennyiben a felmelegedést addig nem sikerül megfékeznünk, 2200-ra a növekedés elérheti akár a 1,5-3,5 m-t is. Mindez rengeteg tengerparti városunk végét jelentené.” És ez csak az a forgatókönyv, amit a tudósok a jelenlegi ismereteink alapján képesek megjósolni...

Lassúnak tűnhet, ahogy bolygónk klímája átalakul, miközben kutatások szerint ez a folyamat aggasztóan gyorsan is végbe mérhető. Mi történik a Föld élővilágával, ha a környezet egyik napról a másikra megváltozik?

A Golf-áramlat leállása

ghajlatváltozás alatt leginkább az általános hőmérséklet-emelkedést értjük, sőt a kifejezet gyakran a globális felmelegedés szinonimájaként használjuk. Bárhogy is, hatásai egyértelműek: környezeti változások, egyre növekvő erőforrásigény és emelkedő hőmérséklet. Ez a megközelítés azonban elfedi a jelenség néhány igazán félelmetes hatását. Az óskori klímaváltozások nyomai azt mutatják, hogy a Föld akár néhány év alatt is lehűlt, szemben a tudósok által rendszerint említett évszázadokkal.

A kutatók álmatlannak éjszakákat töltenek a hatalmas vízáramlat miatt aggódva, amely bejárja a világ óceánjait, az egyik földrészről a másikig szállítva az energiát. A termohalin cirkuláció kimondhatatlanul fontos szerepet tölt be a globális hőmérséklet és energia egyensúlyban tartásában, abban, hogy az északi szélességi fokokon - például Európa területén - élhetőbb környezetet biztosítanak. Sajnos ügy tűnik, ez a vízi szállítószalag könnyen kibillenhet a pályájáról és milliárdok életét döntheti romba.

Ha leállna a termohalin cirkuláció, leállna a hőt szállító Golf-áramlat is, és az észak-atlanti régióban, Európában és Észak-Amerikában kétszer zordabbá válnának a telek, mint a feljegyzések szerint valaha. Az átlaghőmérséklet 5°C -kal esne vissza, a talaj nedvességtartalma egyre csökkenne, és megerősödnének a szélrohamok. Minthogy ezek a területek biztosítják a világ élelmiszer-termelésének jelentős részét, az emberiség ellátása jelentősen megnehezedne.

„A kövületek bizonysága szerint a klíma akár egy évtizeden belül is gyökeresen megváltozhat, az újonnan kialakuló állapotok pedig akár évtizedekig vagy évszázadokig is fennállhatnak - állítja Robert B. Gagosian, a Consortium for Océan Leadership nonprofit szakmai szervezet elnöke, a massachusettsi Woods Hole Oceanográfiai Intézet (Woods Hole Océnographie Institution) korábbi igazgatója. - Ráadásul ezek a klímaváltozások nem feltétlenül éreztetik a hatásaiat globális szinten. Meglepő, de miközben a bolygó egészé fokozatosan melegszik, hatalmas területek éghajlata válhat hűvösebbé.”

A kőzetrétegek vizsgálata kiderítette, hogy egy gyors, termohalin eredetű klímaváltozás az észak-atlanti régióban kemény teleket hozna. Ha néhány éven át zordabbá válnak a telek, különösebb kellemetlenségünk nem lesz, felkészülnünk rá. Ha azonban minden évtizedekig, akár egy évszázadig is eltart, akkor jágtakaró boríthatja be a födeket, befagyhatnak a folyók, a tengereket fedő jég megvastagodhat, egyre nagyobb területeken. Az általunk ismert Nyugat, a világ kereskedelmének, mezőgazdaságának és politikai életének fontos központja lakhatatlanná válhat.

Mi az a termohalin cirkuláció?

A napfény bolygóink különböző hosszúsági fokaira eltérő intenzitással érkezik. Az Egyenlítő több fényt kap, mint a sarkok, az óceánok pedig

ezt az energiát szállítják körbe a Földön. Az Egyenlítőt érő többletnapsütés eredményeképpen itt melegebb a víz, ami jobban párolog, a tengervíz ezért sósabbá válik. A termohalin cirkuláció során ez a hatalmas

mennyiségekű meleg, sós tengervíz halad a trópusokról az Egyesült Államok keleti partjaihoz és Európhoz.

Leállna a hőt szállító Golf-áramlat is, és az észak-atlanti régióban, Európában és Észak-Amerikában kétszer zordabbá válnának a telek, mint a feljegyzések szerint valaha.

lönbségek - magyarázza Gagopian. - Ennek hatására lesz mérsékelt a Föld éghajlata, különösen az észak-atlanti régióban. A szállítószalagnak köszönhetően a Golf-áramlatban mintegy 50%-kal több meleg víz jut el északra. A hidegebb északi hosszúsági fokokon az óceánból a lékgörbe kerül ez a hő, főként télen, amikor a levegő jelentősen hűvösebb a vizénél. Az áramlat legalább 5 °C-kal növeli az észak-amerikai területek hőmérsékletét, így mérsékelve a tél hidegét."

Az Atlanti-óceán északi tengereinél - a Labrador-tenger, az Irminiger-tenger és a Grönlandi-tenger környékén - a termohalin cirkuláció révén hatalmas mennyiségekű hő kerül a lékgörbe. Miután keresztülhaladt ezeken a tengereken, az Izland környékén uralkodó hideg szelek hatására lehűl a víz felszíne, a hűvösebb felszíni rétegek alámerülnek, majd ismét dél felé indulnak, hogy végül elérjék az Antarktiszt. Az észak-atlanti területeken mélybe szálló hideg víztömeg hatására a sós trópusi víz elindul észak felé, hogy a helyébe lépjen.

Mindez óriási víz- és energiamozgással jár. A mély jégrétegekből és üledékből vett minták jól mutatják, hogy ez a szállítószalag nem minden működött megbízhatóan. „A sarkokhoz közelebbi felszíni vízrétegek sűrűségét befolyásoló körülmények változásai az óceáni körforgás gyors átrendeződését eredményezhetik. Az igazán meglepő az éghajlati

adatokkal kapcsolatban a légköri változások mértéke, gyorsasága és terjedelme" - írta 1997-ben, a *Science*-ben megjelent cikkében Wallace Broecker, a Columbia Egyetem Lamont-Doherty Föld Obszervatóriumának klímakutatója.

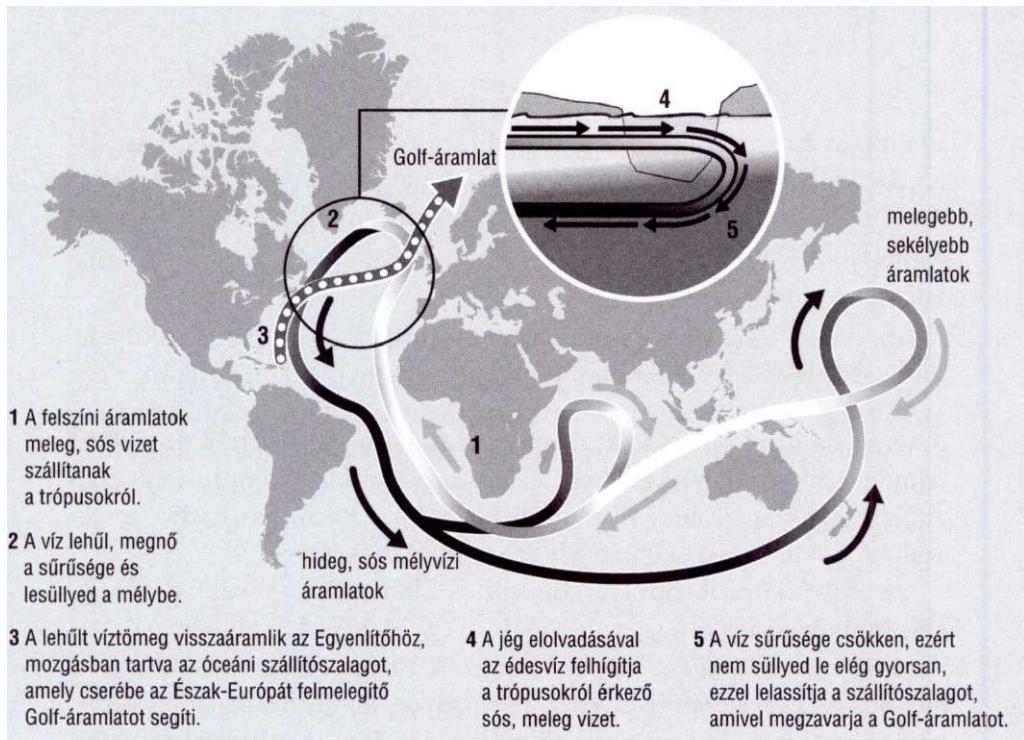
Mitől állhat le ez a körforgás?

A termohalin cirkulációt a világű tengerek hőmérsékletének és sótartalmának eltérései működtetik, természetes szivattyúként juttatja el a víztömegeket egyik helyről a másikra. Ha ez a körforgás bárhol megszakad, annak súlyos kihatása lesz az áramlás egészére.

„A sós víz sűrűbb, mint az édesvíz, és a hideg víz is sűrűbb a melegenél. Amikor a meleg, sós víz hőt ad le a légkörbe az Atlanti-óceán északi részén, lehűl, majd lesüllyed - magyarázza Gagosian. - Ha az így lehűlt sós tengervíz nem süllyedne le a mélybe, a globális óceáni körforgást meghatározó erő meggengülne, majd leállna. A jelenleg uralkodó áramlatok lelassulnának vagy más irányt vennének. Az így átalakult körforgás megváltoztatná az egész bolygó éghajlati jellemzőit.”

A rendszer egyensúlyának felborításához nagy mennyiségi édesvíznek kellene az Atlanti-óceán északi térségebe jutnia. Ez lecsökkentené a víz sótartalmát, majd egy adott küszöbérték átlépése után - mivel a víz már nem lenne elég sűrű ahhoz, hogy lesüllyedjen - az egész szálítoszalag leállna.

A Peter Schwartz és Doug Randall által a washingtoni Klímakutató Intézet (Climate Institute) számára készített jelentés felvázolja azt az eseménysort, amit ezt követően tapasztalnánk. „Az Atlanti-óceán északi vizeire egyre nagyobb nyomást gyakorol az olvadó gleccserekből származó édesvíz, amely Grönland jégtakarójából és főként a megnövekedett csapadékból és vízhozamból származik. Ha a felmelegedés a sarkokhoz közeli területeken több évtizeden keresztül folytatódik,



A termohalin cirkuláció óceáni vízáramlatok globális rendszere, amely meleg víz formájában energiát szállít világszerte. A világ különböző területein más és más névvel illetik: a Golf-áramlat a trópusokról az észak-atlanti térségbe áramló meleg levegő és víz sajátos mozgására vonatkozik.

akkor ennek következtében még több csapadék fog hullani, ami még több édesvizet juttat az itt hömpölygő sűrű, sós óceánba, amelyet leginkább a Golf-áramlat melegebb, sósabb vize táplál. A hatalmas meleg áramlat így nem éri el az óceán legészakibb területeit. Ennek rövid távú éghajlati hatásaként a hőmérséklet Európában és az északi félteke legnagyobb részén lecsökken, ami miatt drámai mértékben visszaesik a csapadék mennyisége a kulcsfontosságú mezőgazdasági és lakott területeken. A leállás hatásai újra és újra jelentkezni fognak a korábbi időjárás visszatérésével, majd ismételt megváltozásával, akár egy teljes évtizedig."

Mindez már megtörtént a múltban. Amikor mintegy 13 ezer éve véget ért a legutóbbi jégkorszak, leállt a termohalin cirkuláció. Az akkor beköszöntött, fiatal driász korszak néven ismert hideg időszak több mint ezer éven át tartott, a jéghegyek birodalma pedig egészen Portugáliáig húzódott.

Egy másik gyors változás az óceáni körforgásban 8200 éve zajlott le, amely kiterjedt szárazságot hozott Amerika nyugati felén, Afrikában és Ázsiában. „Összefüggés mutatható ki bizonyos regionális lehűlések és a délnyugat-ázsiai monszun változásai között, amely talán a legfontosabb tényezője az afrikai, indiai és kínai társadalmak életben maradásának” - állítja Gagosian.

A leállás azonnali hatásai

A Schwartz és Randall által felvázolt forgatókönyv szerint a termohalin cirkuláció leállása globális következményekkel járna. Az éves átlaghőmérséklet lecsökkenne Ázsiában, Észak-Amerikában és Észak-Európában, és legalább egy évtizedig szárazság sújtana a fontos mezőgazdasági és sűrűn lakott területeket. Ausztrália, Dél-Amerika és Afrika déli részén ezzel szemben megemelkedne az átlaghőmérséklet.

A GLOBÁLIS TERMESHOZAM

Nyugat-Európában és a Csendes-óceán északi régióiban hevesebbé válnának a téli viharok. Az energiaellátás megszakadna a hatalmas mennyiségű tengeri jég és a viharok miatt. A szél és a szárazság együttesen nagy kiterjedésű homokviharokat idézne elő, és vészesen elvékonyodna a termőtalajréteg. Az évtized végére Európa nagy része inkább egy modern Szibériára emlékeztetne.

~
áramlat leállását követően

„A globális és helyi szállítási lehetőségek lecsökkenésével világsterre feszültségek jelentkeznének, ami két alapvető stratégiához vezetne: a védekezéshez és a támadáshoz - állítja Schwartz és Randall. - Az erőforrásokban gazdag országok virtuális erődöt építenének maguk köré, hogy megtartsák maguknak a javakat. A kevésbé szerencsés országok, különösen azok, amelyek szomszédaikkal ősidők óta ellenséges viszonyban állnak, harcokat kezdeményeznének az élelem, a tiszta víz vagy az energiaforrások megszerzése érdekében. Valószínűtlen szövetségek jönnének létre, hiszen megváltoznának a védelmi prioritások, és a háborúk fő célkitűzéseivé a vallási, ideológiai vagy nemzeti büszkeség megvédése helyett a túlélést jelentő erőforrások megszerzése válna.”

Az erőforrásokban gazdag országok virtuális erődöt építének maguk köré, hogy megtartsák maguknak a javakat. A kevésbé szerencsés országok, különösen azok, amelyek szomszédaikkal ősidők óta ellenséges viszonyban állnak, harcokat kezdeményeznének az élelem, a tiszta víz vagy az energiaforrások megszerzése érdekében.

kihatással lennének a mezőgazdaságra, a halállományra, a vadon élővilágára, a víz- és energiakészletekre. A terméshozamok 10-25%-kal esnének vissza a hőmérséklet-változás, a vízhiány és növénytermesztésre alkalmas évszakok lerövidülése miatt, ráadásul nehezebben tervezhetővé válnának a kulcsfontosságú mezőgazdasági területek éghajlatának hűvösebbé válása miatt. Mivel bizonyos kártevők elpusztulnának a hőmérséklet-változás következtében, más fajok ugyanakkor elszaporodnának a száraz, szeles éghajlaton - ez pedig másfajta rovarirtó szerek és

Az Egyesült Államokban uralmodó hideg, szeles időjárás megnehezítené a mezőgazdasági termelést. Kínában az általában megbízhatóan érkező monszunesők rendszeresen elmaradnának, ami komoly éhínségek kialakulásához vezetne.

„A megváltozott időjárási jellemzők és óceáni hőmérséklet

növényvédő módszerek alkalmazását követelné meg. A kereskedelmi halászat ugyancsak komoly nehézségekkel nézne szembe, mivel az addig jellemzően csak bizonyos területi joggal rendelkező halászok nem lesznek felkészülve a halrajok tömeges méretű migrációjának követésére" - folytatja Schwartz és Randall.

„Mivel a világon csupán 6 főbb gabonatermesztő régió található (az Egyesült Államok, Ausztrália, Argentína, Oroszország, Kína és India), nincs elegendő élelmiszer többlet ahhoz, hogy egyszerre több területen is ki tudjuk védeni a zord klíma hatásait, leszámítva négyet-ötöt. A globális gazdasági egymásrautaltság következtében az Egyesült Államok is egyre kiszolgáltatottabbá válik a gazdaságban fellépő zavarokkal szemben, amelyeket a kulcsfontosságú mezőgazdasági és sűrűn lakott területeken kialakuló helyi időjárás-változások okoznak világszerte.

Mennyi a valószínűsége mindennek?

„A termohalin cirkuláció sorsát Grönland fogja eldönteni - nyilatkozta Stefan Rahmstorf klímatudós a *Nature-nek*. - Ha gyorsan megy végbe a folyamat, az negatív hatással lesz a mélytengeri vízcserére, ám ha Grönland stabil marad, nem valószínű, hogy leáll a körforgás."

Egy 2002-ben megjelent tanulmány szerint már négy évtizede áramlik édesvíz az Atlanti-óceán északi vizeibe, és ennek a mennyisége az utóbbi 10 évben egyre nagyobb arányban nőtt. Kimutatták, hogy az 1960-as évek közepe óta az Atlanti-óceánt tápláló tengerek vizének sótartalma folyamatosan csökken.

Lelassulhat vagy leállhat ettől a globális szállítószalag? „Ha röviden akarunk válaszolni, azt kell mondanunk, hogy nem tudjuk biztosan. A tudósok sem tudták még pontosan meghatározni, hogy a lehetséges forrásokból milyen arányban áramlik édesvíz az óceánba. Gyanítha-

tóan nagy szerepet játszanak az olvadó gleccserek és az északi-sarki tengerjég, esetleg a megnövekedett mennyiségű, közvetlenül az óceánba hulló vagy a nagyobb folyókon keresztül az Északi Jeges-tengerbe jutó csapadék. A globális felmelegedés mindezeket a hatásokat felerősítheti" - magyarázza Gagosian.

Hozzáteszi, hogy a hirtelen regionális lehűlés és a fokozatos globális felmelegedés párhuzamosan is lejátszódhat. „Az üvegházhatás valóban destabilizáló hatású lehet, amely sokkal valószínűbbé teszi a hirtelen klímaváltozást. Az Amerikai Tudományos Akadémia 2002-ben kiadott jelentése szerint »a rendelkezésre álló bizonyítékok azt mutatják, hogy a hirtelen bekövetkező klímaváltozások nem csupán lehetségesek, de nagyon is valószínűek a jövőben, és minden bizonnyal komoly hatással lesznek az ökoszisztemákra és a társadalmakra«.”

Földünket egyszer már elborította a jég - de itt nem valamelyik korábbi jéggorszakról van szó. Sokkal komolyabbról: gleccserek húzódtak a sarkoktól az Egyenlítőig, és az óceánok teljes felszíne befagyott. Bolygónk 700 millió ével ezelőtt kozmikus hógolyóként száguldott az űrben.

Hógolyó Föld

z egyet halvány, mozdulatlan pamacsok pettyezték - nem vízből, hanem fagyott szén-dioxid-kristályokból álló felhők, melyek a fagy miatt már nem járták Föld körüli útjukat.

Az akkoriban létező élőlényekre a hógolyó Földön a pusztulás várt, hiszen megszűnt az addig uralkodó, megfelelő meleg és az optimális kémiai feltételek. A többsejtű életformák éppen akkor voltak kifejlődőben, a mitokondriumok - a test sejtjeiben elhelyezkedő apró sejtszervecskék, amelyek a táplálékot alakítják át hasznosítható energiává - éppen kezdték szimbiozist kialakítani azokkal az élőlényekkel, amelyek később a ma ismert állatokká és növényekké fejlődtek.

Mindez egy szempillantás alatt eltűnt, a felszínen és annak közelében minden elpusztult. Ha a -50°C nem is, a folyékony víz hiánya elvégezte a dolgát. Csak az élet legegyeszerűbb formái - néhány algafaj és baktérium - kaptak esélyt, hogy a kilométeres jégpáncél alatt, a hőforrások és tenger alatti vulkánok körüli melegebb vízben összegyűlve életben maradjanak.

Több millió évvel ezelőtt a hógolyóvá fagyott Föld elpusztított szinte minden életet. Ha ugyanez ma történne meg, a következmények jóval súlyosabbak lennének: gleccserek borítanák el a városainkat, használhatatlanná válna az infrastruktúra, és csak korlátozottan lehetne hozzájutni az ivóvízhez. Jég lepné el a termőföldeket, az energiaforrásaink hozzáférhetetlenné válnának, a hideg és az éhezés pedig milliárdok halálát okozná. A bolygó életében az egész csak egy pillanatnyi klímaváltozás lenne, és később ugyan visszatérne a meleg, de ez a rövid eljegesedés elegendő lenne ahhoz, hogy elpusztítsa civilizációinkat.

A hógolyó Föld hipotézis

Földünk múltjában számos jégkorszak fordult elő, amelyek során jelentős volt a lehűlés, a bolygó nagy részét jégréteg borította be. Az elmúlt

évtizedekben a tudósok olyan dermesztően hideg korszak nyomaira bukkantak, amelyhez mérve minden ismert jégkorszak eltörpül.

Az első ilyen mértékű eljegesedés mintegy 2,2 milliárd évvel ezelőtt következhetett be, bolygóink eddigi életének a félidejében. Egy másik, sorozatosan visszatérő fagy hullám 700 millió éve kezdődött el, és csak 130 millió évvel később, a proterozoikum eonként ismert földtörténeti korban ért véget.

Amikor bolygóink legutóbb hólabdává fagyott, a mai ember számára teljesen ismeretlen világ alakult ki. A Rodinia szuperkontinens épp akkorra szakadt szét kisebb földrészre, amelyek az Egyenlítő környékén tömörültek össze. A Nap fénye mintegy 6%-kal gyengébb volt a mainál.

A jég mennyisége azért kezdett el megnöni, mert a bolygó természetes védelmi rendszerét jelentő üvegházhatás nem működött rendesen. A légkörben található üvegházhatású gázok - molekuláris szerkezetük révén - felfogják a Nap nagy energiájú elektromágneses sugárzásának bizonyos hullámhosszait, míg másokat, mint például a látható fényt, átengedik. Ugyancsak visszatar-tanak valamennyit abból a hőből, amit a bolygó sugároz az űrbe, amitől az egyébként lékgör nél-kül nagyon lehűlő Föld felszíne felmelegszik.

A legfontosabb ilyen üvegház-hatású gáz a szén-dioxid. Manapság éppen azért aggódunk, mert nő a mennyisége, aminek követ-keztében fokozatosan melegszik a bolygó uralkodó éghajlat. Tudósok szerint a legutóbbi eljegesedést megelőző globális hőmérséklet-csökkenés részben annak volt köszönhető, hogy hatalmas mennyiségi szén-dioxid tűnt el a lékgörből.

Magá az olvadás alig pár száz évig tartott, de ezzel egy időben újabb probléma jelentkezett: a könyörtelen üvegházhatás.

Mindazok az élőlények, amelyek sikeresen túlélték a jéggé fagyott állapotot, most egy forró kemencében találták magukat.

A szakértők magyarázata szerint ennek az lehetett az oka, hogy a korábbi egybefüggő Rodinia szuperkontinensének szétdarabolódása következtében nagyobb területek kerültek az óceánok közelébe, ahol páradúsabb a levegő. Gyakoribbá váltak az esőzések, ez pedig a szílikátok mállásaként ismert természetes folyamat kialakulásához vezetett. Ennek során az esővíz megköti a levegőben található szén-dioxidot és szénsav keletkezik, amely ezután hosszú földtörténeti korokon keresztül lassan szétmállasztja a kőzeteket, elindítva a talajképződést. Az egyre növekvő csapadékmennyiség hatására egyre több szén-dioxid tűnt el a légkörből és egyre nagyobb mennyiségű kőzet málloott szét.

A több millió évig tartó kiadós esőzések eredményeképpen a légkör szén-dioxid-szintje veszélyesen alacsonnyá vált, ezzel egyre gyengült az üvegházhatás. A bolygón egyre inkább a fagy vette át az uralmat. Jégmezők húzódtak le a sarkuktól, a hirtelen hőmérséklet-csökkenést pedig még jobban felgyorsította a gleccserek vakítóan fehér felülete, amely több napsugárzást vert vissza, mint az alatta elterülő sötétebb tónusú föld vagy víz. A lecsökkent mennyiségű üvegházhatású gázok a légkörben már kevésbé voltak képesek csapdába ejteni a felszínről visszaverődő sugárzást, így az energia egyszerűen eltávozhatott az űrbe anélkül, hogy felmelegítette volna a Földet.

Amikor az északi szélesség 30° -tól délre is megjelent a jég, a felszínről a világűrbe visszaverődő fény mennyisége még jobban megnőtt, mivel szélességi fokonként egyre nagyobb területű jégmezőket ért közvetlen napugárzás. „Ez a hatás annyira felerősödött, hogy a felszíni hőmérséklet hirtelen lezuhant, és az egész bolygó megfagyott” - magyarázza Paul Hoffman és Dániel Schrag, a Harvard Egyetem geológusai, a hógolyó Föld kialakulásának és hatásainak szakértői. Az elkövetkező 30 millió év során a ragyogóan fehér gleccserek és az üvegházhatás megszűnése együttesen gondoskodtak róla, hogy a felszíni hőmérséklet a sarkvidékeken -50°C körül, a trópusokon pedig -30°C körül maradjon.

A jég visszahúzódása után

A hógolyó Föld extrém körülményeiről először Joe Kirschvink, a Kaliforniai Műszaki Egyetem paleomagnetizmus-szakértője írt 1992-ben, tudóstársai azonban akkoriban még nem siettek alátámasztani az elméletét. Elképzelhetetlennek tűnt számukra a gondolat, hogy a Föld klimatikus viszonyai lehetővé tennék, hogy a gleccserek egészen a trópusokig húzódjanak, ráadásul ha ez a folyamat valóban öngerjesztő lenne, akkor mégis mitől ért véget? Miért nem fagyos hólabda a Föld még ma is?

Kirschvink a második kérdésre válaszolva kimutatta, hogy a Föld elmozduló tektonikus lemezeinek hatására tovább folytatódott a vulkánok és a szén-dioxid képződése, és légkörbe jutása. Ezzel párhuzamosan, minthogy a bolygó felszínét jég borította, a szén-dioxidot a légkörből kivonó természetes kémiai folyamatok, azaz az esőzések leálltak.

Mindez azzal járt, hogy az évmilliókon át tartó megfagyott időszak alatt ismét nagy mennyiséggű szén-dioxid kezdett felhalmozódni a légkörben, ami elérve eredeti mennyiségének ezerszeresét, újra beindította az üvegházhatást, amitől a jég fokozatosan olvadni kezdett. „Maga az olvadás alig pár száz évig tartott, de ezzel egy időben újabb probléma jelentkezett: a könyörtelen üvegházhatás - állítja Hoffman és Schrag. - Mindazok az élőlények, amelyek sikeresen túlélték a jéggé fagyott állapotot, most egy forró kemencében találták magukat. Bármennyire valószínűtlenül is hangzik, bizonyítékunk van rá, hogy az effajta meglepő - bolygónk történetében a legszélsőségesebbnek számító - klímaváltozások legalább négy alkalommal fordultak elő

A szélsőséges hideg majdnem minden akkor élő élőlényt elpusztított a Földön, ugyanakkor megteremtette a mai gazdag élővilág kialakulásához szükséges feltételeket is.

a 750 millió évvel ezelőtt kezdődött és 580 millió évvel ezelőtt véget ért időszak alatt."

Ahogy a trópusi óceánok a legutóbbi hógolyó Föld állapotot követően felolvadtak, a víz egy része elpárolgott, és a szén-dioxiddal együtt csak még intenzívebbé tették az üvegházhatást. Az Egyenlítő környékén a hőmérséklet elérte akár az 50 °C-ot is, az eső pedig szakadatlanul esett. A felmelegedett tengerek hatalmas erejű hurrikánokat hoztak létre.

A Föld lassan magához tért a több millió évig tartó fagyott állapotból, és ahogyan visszatért a viszonylag normális éghajlat, kialakultak az optimális feltételek az élet gyors térnyeréséhez. Az eredmény a kambriumi robbanás volt, amely 575 millió évvel ezelőtt kezdődött és 525 millió évvel ezelőtt ért véget, és aminek során igen rövid idő alatt rengeteg élőlény jelent meg a Földön.

Hogyan hatott mindez a földi életre?

A fagyott állapot alatt majdnem minden elpusztult. A földtani kutatások azonban azt bizonyítják, hogy az utolsó eljegesedést követő felmelegedéssel együtt jelentek meg az első többsejtű állatok. Hogyan lehetőséges, hogy egy ilyen szélsőséges esemény képes volt ekkora lendületet adni a földi élet továbbfejlődésének?

A geológusok szerint a kambriumi robbanás oka az volt, hogy azok az élő organizmusok, amelyek megérték a több millió éves fagyott állapotot követő olvadást, hirtelen hatalmas érintetlen területen találták magukat, ahol szabadon terjeszkedhettek. Miközben a gleccserek a fagy uralma idején fokozatosan haladtak dél felé, közben magukkal sordták a felszín ásványi anyagokban és tápanyagokban gazdag, legfelső rétegét. Amikor több millió évvel később a jég elolvadt és a gleccserek visszahúzódtak, ezek az ásványi anyagok és tápanyagok visszakerültek

az óceánokba, ahol az egyre nagyobb mennyiségen előforduló, oxigént termelő algák tápanyagául szolgáltak, amelyek cserébe kialakították az állatok evolúciójához nélkülözhetetlen légköri viszonyokat.

A szélsőséges hideg majdnem minden akkor élő élőlényt elpusztított a Földön, ugyanakkor megteremtette a mai gazdag élővilág kialakulásához szükséges feltételeket is.

Újra megtörténhet?

Napjainkban a kontinensek egyenletesebben oszlanak el a bolygó felszínén, így kisebb az esélye az intenzív páraképződésnek és esőzéseknek, amelyek képesek lennének kivonni a légkörből a szén-dioxidot. Mi több, a Nap sokkal több fényt és meleget sugároz, mint a legutóbbi hógolyóállapot kialakulása kezdetén.

Hoffman és Schrag ezzel szemben arra figyelmeztet, hogy nem szabad megfeledkeznünk arról, milyen szélsőséges klímaváltozásokra képes a Föld. „Az elmúlt évmillió során Földünk az első állatok megjelenése óta tapasztalt leghidegebb állapotában volt, de még 20 ezer évvel ezelőtt, a legnagyobb kiterjedésű gleccserek idején is messze álltunk attól, hogy a bolygó hógolyóvá dermedjen.”

Bár a következő jégkorszak csúcspontja alig 80 ezer év múlva várható, a geológusok szerint nehéz megjósolni, hogyan változik a Föld klímája több millió éves távlatban. „Ha folytatódik az elmúlt évmillió során tapasztalt tendencia, és a bolygó természetes védelmi mechanizmusa felmondaná a szolgálatot, ismét megtapasztalnánk egy végzetes globális eljegesedés következményeit, amely minden bizonnal új irányt szabna az élet fejlődésének.”

Mintha márás az apokalipszist látnánk: nőstény, pszeudo-hermafroditák jegesmedvék pénisszerű kinövéssel, el-sorvadt nemi szervű párduczok, hím pisztrángok és csótányok, amelyek az ikrákat és a petéket a heréikben nevelik. Ezek nem valami kísérteties cirkusz szereplői, hanem egy olyan hosszú eseménysor végtermékei, amely a modern társadalmat felépítő anyagokkal kezdődik.

Vegyianyag-szennyezés

ok emberi tevékenység - a növénytermesztés, a ruházati ipar, a városok felépítése és üzemeltetése - mérgezi a bolygónkat.

A rovarirtók, a radioaktív hulladék, a nehézfémek, a kipufogógázok és a túlzott műtrágya-felhasználás csupán néhány a számtalan mérgező vegyi anyagból, amit a folyókba, a tengerekbe és a levegőbe engedünk. A Föld hatalmas méretének tudatában úgy tettünk, mintha nem vennének észre ennek a szennyezésnek a következményeit - a légkörben eloszló gázfelhőket, a folyókba ömlő ipari salakot és a felhasználás után a talajba szivárgó rovarirtó szereket.

Szerencsére a legtöbb, az emberiség (és a Föld) számára mérgező anyag káros hatás nélkül feloldódik, mások pedig természetes úton ár-

talmatlan anyagokká bomlanak le. Sok veszélyes vegyi anyag azonban megmarad, majd bejut a táplálékláncba és az ivóvízbe. A növények fel-szívják, az állatok megeszik a növényeket, és eközben a vegyi anyagok egyre nagyobb koncentrációt érnek el. Egy adott ponton túl a növények, halak és madarak elpusztulnak, az ökoszisztema pedig összeomlik. Kevesebb élelem áll az emberek rendelkezésére, amihez pedig hozzájutunk, az roncsolja a DNS-ünket és megbetegít. Hiába hat lassan ez a méreg, az életre gyakorolt hatásai katasztrofálisak lehetnek.

Mi minden kerül a földbe?

Úgy használjuk a Földet, mint egy szemetesvödröt. Városaink levegőjét beszennyezi az autók és kamionok kipufogózára, az ipari gyártelepek-ről felszálló füst tele van nehézfémekkel és apró szemcséjű anyagokkal, amelyek az erős légáramlatokkal eljutnak a világ minden pontjára. A mezőgazdaságban nagy mennyiségben használt műtrágyák és rovarirtó szerek tekintélyes része végül a talajba szivárog, vagy belemosódik a folyókba, ami felborítja az élővilág egyensúlyát.

Íme, emelkedő életszínvonalunk árnyoldala. Az emberiség elképesztő mennyiségű mesterséges vegyi anyagot talált fel és gyártott azért, hogy megkönnyítse az életet: 1930 és 2000 között a vegyipari termelés éves volumene 1 millióról 400 millió tonnára nőtt. Csak az elmúlt évtizedekben mintegy 80 ezer új vegyületet találtunk fel, és bár minden nap találkozhatunk ezekkel, a legtöbbük jellemzően láthatatlan.

Vegyük például a hormonális hatású biszfenol-A-t (BpA), amelyből csak az Európai Unión belül évente 700 ezer tonnát gyártanak, hogy azután a fémtisztító szerektől a cumisüvegekig számtalan termékben felhasználják. Más vegyi anyagokat naponta kenünk a bőrünkre, ilyenek például a kozmetikai szerekben található ftalátok és parabének. A bennünket körülvevő tárgyakban további számtalan vegyi anyag ta-

látható - gondoljunk csak a kanapéhuzatban is megtalálható brómtartalmú tűzálló anyagra (BFR). Ha már nem használjuk őket, ezek az anyagok a tágabb környezetünkbe kerülnek.

MESTERSEGES
VEGYIANYAGGYÁRTÁS

2000: 400 millió tonna

Környezeti hatásuk azonban eltörpül a mezőgazdaságban és az iparban felhasznált összetevők hosszú távú mellékhatá-sai mellett. A DDT például, ez a biológiai-lag csak nehezen, hosszú időn át lebomló anyag, felhalmozódhat az állati szövetekben, majd generációkon át öröklődhet tovább a méhlepényen és a szoptatáson keresztül, sőt bekerül a táplálékláncba is.

A DDT a II. világháború idején jelent meg először mint rovarirtó. Hamarosan a mezőgazdaság és a közegészségügy csodafegyverévé vált, mivel sikerkel pusztította el a betegségeket hordozó rovarokat, többek között a szúnyogokat is. Néhány évtizeddel később már a természes-t környezet minden pontján kimutatható volt, hiszen a szél- és vízáramlatok, a vándormadarak és halrajok akár több ezer kilométer tá-volságba is eljuttatták a Földön. Kimutatták a városok levegőjében és a vadon élő állatok szervezetében: még a Déli-sark Adélie-pingvinjeiben is, és felhalmozódott az emberi zsírszövetben is. Ma már betiltották a használatát, éppen a világszerte az egész élővilágra gyakorolt mérgező hatása miatt.

A veszélyes szennyezőanyagok egy másik csoportjába tartoznak a hormonrendszer károsító endokrin diszruptorok. „Ha megvizsgáljuk egy hormonmolekula, például a tesztoszteron szerkezetét, a szén kör-körös alakzatai ugyanolyanok, mint a PCB-hez, azaz a poliklorozott bifenilhez hasonló rovarirtó szerek többségében megfigyelhető mintázat” - magyarázza Andrew Derocher, az Albertai Egyetem biológiaprofesszora. Az idők során az állatok megtanulták kezelní a szervezetük-be jutó természetes vegyi anyagokat, az ember azonban vészes sebes-séggel alkot meg és juttat a környezetbe újabb és újabb mesterséges

szereket, ami végzetes következményekkel járhat. „Nincs organizmus, amely felkészült volna az ember által létrehozott vegyi anyagokra” - hangsúlyozza Derocher. Ezek a vegyületek végül felhalmozódnak az olyan csúcsragadozók szervezetében, mint például a jegesmedvék és a párducok, és komolyan befolyásolhatják a fejlődésüket.

A szennyezés másik jelentős forrásai a műtrágyák. Az ezekben bősségesen található nitrogén és foszfor segíti a növények növekedését, de egy átlagos gazdaságban a földekre kiszort mennyisége tekintélyes része nem a növényekbe kerül. Ehelyett elszivárog a környező folyókba, végül a tengerekbe, ahol a hirtelen megjelenő tápanyagmennyiség az algák elszaporodásához vezethet, amely végül vastag szőnyeggé összeállva rövid idő alatt megfojtja az alatta elterülő vizet. Létrejön egy oxigénihiányos, ún. halott zóna, ahol nem jut elegendő oxigén a vízbe, elpusztulnak a növények, a környéket pedig elkerülik a halak és a tengeri emlősök.

Az élővilágra gyakorolt hatás

Ha a rovarirtók és más szennyezőanyagok koncentrációja az állatok szervezetében elér egy bizonyos szintet, azonnal elpusztulnak, de a kissébb mértékű méregzés is vezethet csökkenő termékenységhez vagy a testi fejlődés leállásához.

Fiziológiai szempontból nézve, az állati szervezet nem tud különbösséget tenni egy szennyező molekula és például a saját hormonmolekulája között. így a bekerülő molekulákra reagáló természetes védekező mechanizmusai túlteljesítének, és már nem csak a szennyezőanyagokat pusztítják el. A felborult egyensúlyi helyzetben - minthogy a hormonok felelősek a növekedésért, a testi fejlődésért - a torz egyedek megjelenése szinte elkerülhetetlen.



A finom szemcsés vagy folyékony vegyszerek szétszórása egy hatalmas terület felett nem tűnik bonyolult dolognak. A gazdák kisrepülőgépek segítségével oldják meg a termények rovarirtó-beszórását. Elszánt terroristák hasonló módon mérgezhetnének meg egész városokat.

„Minél több méreganyag kerül egy jegesmedve testébe, az állat annál gyengébb immunreakciókra képes” - magyarázza Derocher. A szakértő a poliklorozott bifenileket okolja ezért a jelenségért, amelyek évtizedekkel a szer betiltását követően is kimutathatók a környezetben. Holland szakemberek fókákkal kapcsolatos kutatásai azt mutatták, hogy az 1990-es években a holland partoknál - a nagy európai folyók torkolatánál - fogott, szennyezett heringgel táplálkozó állatok szaporodási képessége a felére csökkent az Atlanti-óceán nyüt északi vizein hálóba került, friss halon élő társaikhoz képest. Az első csoportba tartozó fókák ráadásul gyenge immunreakciót mutattak.

A ragadozó madarak több fajtája, például a sólyom és a sas esetében is kimutatták, hogy szervezetük végzetes mennyiségű rovarirtó szert tartalmaz. Ugyanezek a vegyszerek felelősek a világ több méhpopulációjának hanyatlásáért, ami önmagában is rendkívül aggasztó, hiszen ez a folyamat a növénytermesztés és az élelmiszeripar leállásával hozhatja el a világ végét. (Lásd 118. o.)

A szennyezéssel tükrözött táplálékláncok tovább rontanak az ökoszisztemák helyzetén. Ha az állatok csökkenő száma miatt nincs, aki megenné a szennyezett vízben élő növényeket, akkor ezek is elpusztulnak, lesüllyednek a vízfenékre, ahol rothatásnak indulnak, amelynek során mérgező hidrogén-szulfidot és más gázokat bocsátanak ki, tovább rombolva ezzel a környezetet.

A szárazföldön, pontosabban a földben, a rovarirtó szerek és más szennyezőanyagok hatása láthatatlan marad. A talaj szerkezete, termőképessége és összetétele nagyban függ a gerinctelen állatok (a mikroszkopikus protozoonoktól a fonálfergeken át az ismertebb földigilisztákig) tömege jelenlétéktől, amelyek többnyire a felszín alatti néhány centiméteres rétegen élnek. A talaj egyetlen négyzetmétere akár 1 millió ízeltlábú - ugróvillásokat, bogarakat, százlábúakat, pókokat és hangyákat - is tartalmazhat.

„Ahog kevés ilyen gerinctelen állat él, ott rendszerint rossz minőségű a talaj, amelyben a lebontatlan szerves anyagok különálló részgeket alkotnak a felszín közéleben - mondja Clive Edwards, a hertfordshire-i Rothamsted Kísérleti Állomás (Rothamsted Experimental Station) munkatársa.

- Olyan talajban is megtéremnek a növények, amelyekben egyáltalán nem vagy alig vannak jelen ezek az élőlények, feltéve, hogy szorgalmasan művelik és műtrágyázzák őket (bár valójában a talajművelés nyomán jellemzően lecsökken a talajban élő állatok száma). Ha az erdők

Nincs élő szervezet, amely felkészült volna az ember által létrehozott vegyi anyagokra,

talajából hiányoznának ezek az apró gerinctelen állatok, a talajképződés lelassulna vagy le is állna, ennek pedig katasztfális hatása lenne a föld termőképességére."

A modern mezőgazdaság azonban éppen ebben az érzékeny talajtípusban alkalmazza a legerősebb rovarirtó szereket.

Az emberekre gyakorolt hatások

A vegyi anyagok globális körforgásában az ember csak az egyik, igaz a tápláléklánc csúcsán álló fajként vesz részt. „Ha káros mennyiségi ösztrogént utánzó vagy hormonrendszer-blokkoló vegyianyag-szenynyezésnek tennénk ki az emberi populációt, annak hatására megnőne a hormonalapú rákbetegségek (a mell-, a prosztata- és a herérák) előfordulása - figyelmeztet Gwynne Lyons, a Chem Trust, az embert és a vadvilágot a veszélyes vegyi anyagoktól védelmező karitatív szervezet igazgatója. - Több gyermek születne rendellenességekkel, nemzőszer-vi zavarok lépnének fel, például a herék nem szállnak le, a lányok pedig hamarabb érnék el a serdülőkort. Ezek a hatások már ma is tettek érhetők.”

Az emberi szervezetben kimutatható mintegy 300 mesterséges vegyület közül sokat már évtizedekkel ezelőtt betiltottak: ilyenek például a PCB-k és más rovarirtók, például a DDT, de Lyons arra is rámutat, hogy ezek jelenlétéét nem lehet egyik napról a másikra megszüntetni, és a jövőben bármikor újabb káros hatásaikat fedezhetik fel. A tudósok már arra is találtak bizonyítékot, hogy a Parkinson-kór kialakulása összefüggésbe hozható a hosszan tartó, jelentős mértékű rovarirtószer-mérgezéssel - ez azoknál a Parkinson-kóros betegeknél volt a legszem-betűnőbb, akiknek a szervezetébe organikus klór- és foszforvegyületeket tartalmazó gyom- és rovarirtó szerek kerültek.

Mit tehetünk?

Civilizációnk mai arcát olyan jelentős mértékben alakították a vegyi anyagok, hogy hasznosságukat vitatni értelmetlen lenne. Sok más dolgozóhoz hasonlóan azonban le kell vonnunk a pazarló XX. század tanulságait, és intelligensen, a fenntarthatóságot szem előtt tartva kell eldöntenünk, hogy közülük melyeket alkalmazzuk a továbbiakban. A mezőgazdaságban például jóval kevesebb műtrágya felhasználásával is el lehetne érni a magas terméshozamokat. A következő lépés az lenne, hogy mérsékeljük a hosszú élettartamú vegyületek alkalmazását, így ami ezekből a környezetbe kerülne, az is gyorsan lebomlana ártalmatlan anyagokká.

George M. Woodwell környezettudós már 1967-ben megírta, hogy jobban oda kellene figyelnünk a Föld ökológiai körforgásaiban felhalmozódó, nehezen lebomló mérgező vegyületekre, és rámutatott arra is, hogy bolygónk hatalmas mérete sem indok arra, hogy a problémát örökösen a szőnyeg alá söpörjük. „A mai társadalom számos tényezőjét érinti ez a változás: nemcsak a hatalmas mennyiségű hulladék elhelyezése miatt kell aggódnunk, hanem a kártevők visszaszorításának módszereit is forradalmasítanunk kell - mondja Woodwell. - Az ökológiai rendszerek szennyezéséből következő veszélyek ismerete meggyőzően bizonyítja, hogy a Föld hatalmas méretei többé már nem garantálják a biztonságunkat.”

Sokáig mindenki az ózonréteg eltűnése miatt aggódott, mielőtt a klímaváltozás át nem vette a vezető helyet a katasztrófa-forgatókönyvek versenyében. Jogos volt-e az aggodalmunk? igen, hiszen ha kevesebb áll rendelkezésre ebből a ritka gázból, a földi élet is visszaszorul.

Az ózonréteg pusztulása

-Az ózonréteg pusztulása miatti aggodalom az 1980-as évek végén és az 1990-es évek elején hágott a tetőfokára. Az ipari mennyiségű hűtőszekrénygyártásnak köszönhetően a Föld légkörének ezen érzékeny része, azaz a világúrból érkező pusztító sugárzás elleni védőpajzs kezdett elvékonyodni. Néhányan már arra a távoli apokaliptikus lehetőségre gondoltak, hogy vajon mennyi esélyünk lesz az életben maradásra, ha teljes mértékben eltűnik az ózonréteg?

Mi az ózonréteg?

Az ózon kellemetlen anyag. Oxigénmolekuláját a megszokott kettő helyett három atom alkotja. Szúrószagú és maró hatású gáz, amely a lékgörben mindenütt jelen van. A mi figyelmünk középpontjában

lévő ózonréteg a Föld felszíne felett nagyjából 10-16 km magasságban kezdődik, és akár több mint 48 km magasságig is terjedhet. Az ózon koncentrációja itt, a sztratoszférában a legmagasabb, a levegő minden 10 millió molekulájából 3 e mérgező gázé. Talán nem tűnik magasnak ez a szám, de ebben a rétegen található a légkör ózontartalmának 90%-a, és ennek védelme alatt virágzik a földi élet.

A sztratoszférában található ózon kulcsfontosságú, hiszen ez nyeli el a Napból érkező káros UV sugárzás nagy részét (akár a 99%-át is). Szűrőhatása nélkül a nagy energiájú UV sugarak károsítanák a növényeket és az állatokat. A NASA szerint ha az ózonpajzs 1%-kal elvékonynodik, 2%-kal több UV sugárzás jut el a légkör alsóbb rétegeibe.

A napfény magas frekvenciájú UV sugárzásán belül hullámhosszuk szerint megkülönböztetünk A, B és C kategóriákat. A három közül a kis hullámhosszú UV-C a legveszélyesebb, ám ezt teljesen kiszűri az ózonréteg, így nem éri el a földfelszínt. A mesterséges UV-C sugárzás antimikrobiális (mikrobaölő) hatású, ezért kiválóan alkalmazható sterilizálásra (erről bővebben később). A közepes hullámhosszú UV-B sugárzás nagy részét szintén elnyeli az ózonpajzs, egy hányada mégis eléri a felszínt. Ez károsíthatja a bőrünket, hiszen főként ez okozza a leégést. Ez azonban olyan fajta sugárzás, ami hasznos is lehet a számunkra: ha kis dózisokban éri a bőrt, serkenti a D-vitamin-termelődést, ami viszont az egészséges csontokhoz és ép idegrendszerhez nélkülözhetetlen. Ugyanakkor a túlzott mértékű UV-B sugárzás genetikai károsodást vagy bőrrákot okozhat.

Az emberi szervezet természetes védekezési módszere az UV-B típusú sugárzás ellen az, hogy a bőrben megnöveli a barna pigmentanyag, a melanin mennyiségét. Ez a vegyület elnyeli az UV sugárzást, majd hő formájában oszlatja szét, ezzel is csökkentve annak káros hatását. A melanin felelős a bőr napbarnított színéért is.

A három típus közül a legnagyobb hullámhosszú UV-A sugárzás a leggyengébb, amelynek nagy része áthatol az ózonrétegen és eléri a Föld

felszínét. Bár hatalmas dózisban ez is okozhat károsodást, a három UV sugárzás közül elsősorban a B és C típus miatt kell aggódnunk.

Mindhárom típus károsíthatja a bőr rugalmasságáért és fiatal-ságáért felelős kollagént, de az UV sugárzás azért igazán veszélyes,

Az UV sugárzás azért igazán veszélyes, mert tönkreteheti a genetikai állományt... Egyes esetekben agresszív rákos daganatok kialakulását eredményezheti.

kadásokat, azok a sejtek halálához, illetve a sejtosztódás során hibás másolatok képződéséhez vezethetnek, ez egyes esetekben agresszív rákos daganatok kialakulását eredményezheti.

Az UV fény minden élő szervezetre káros hatással lehet, nem csak az emberre: az UV lámpák erős fényét rendszeresen alkalmazzák a levegő és a víz sterilizálására, mert megöli a vírusokat és baktériumokat. A sugárzás széthasítja a mikroorganizmusok DNS-ében található molekulák közötti kötésekét, így azok nem képesek szaporodni.

Az ózonlyuk

A tudósok az 1970-es években kezdték el aggódva figyelni a bolygó védelő ózonpajzson keletkező lyukat. Több évtizedes kutatómunkával kimutatták, hogy egyre nagyobb mennyiségben vannak jelen olyan, az ember által létrehozott vegyületek, amelyek képesek lebontani az ózonmolekulákat. Ezeket az anyagokat - a klór, fluor, bróm, szén és hidrogén által alkotott halogénezett szénhidrogéneket és a klórból, fluorból és szénből létrehozott klorofluorokarbonokat (CFC-k) - már évtizedek

mert tönkreteheti a genetikai állományt. A sejtmagban található DNS-molekulák képesek elnyelni a sugárzást, aminek következetében a hosszú láncok széteshetnek. Ha a szervezet saját karbantartó mechanizmusai nem veszik észre és javítják ki ezeket a sza-

eszre és javítják ki ezeket a szakadásokat, azok a sejtek halálához, illetve a sejtosztódás során hibás másolatok képződéséhez vezethetnek, ez egyes esetekben agresszív rákos daganatok kialakulását eredményezheti.

óta használják a tűzoltó készülékekben, hűtőszekrényekben a légkondicionáló berendezésekben és az elektronikai iparban.

Ezek a vegyületek roppant stabil szerkezetűek, és a légkörbe kerülve érintetlenül jutnak el egészen a sztratoszféráig. Amikor eléri az ózonréteget, a molekulákat széthasítja az erős UV fény, a szabaddá váló klóratomok pedig egy olyan láncreakciót indítanak be, amely során ózonmolekulák százezrei hasadnak szét. Ennek következtében a beérkező UV-B sugárzás nagy részét nincs, ami elnyelje, így akadálytalanul éri el a földfelszínt.

A légkör ózontartalmát vizsgáló műholdas mérések szerint ezek a gázok leginkább a sarkvidékek környékén gyűlnek össze, aminek következtében az Antarktisz fölött már annyira elvékonyodott az ózonréteg, hogy minden tavasszal hónapokon át ténylegesen egy „lyuk” tátong rajta. Az évtized elején elvégzett mérések azt mutatták, hogy a Déli-sark térségében a szeptembertől novemberig tartó időszakban az ózon 60%-a eltúnik. Az Északi-sark fölött 20-25%-os, valamivel rövidebb időtartamú ózonfogyást mértek minden év januárja és áprilisa között. Az ózonréteg ilyen mértékű elvékonyodása összefügg a Föld felszínét elérő, lokálisan megnövekedett UV sugárzással.

AZ OZONRETEG REGENERÁLÓDÁSA

50-100 évig tarthat

Eltűnhet az ózonréteg?

1986-ban, miután megállapították, hogy a CFC-k és a halogénezett szénhidrogének rendkívül károsak, számos nemzetközi vezető szignált a Montreal jegyzőkönyvet (Montreal Protocol). A 195 aláíró elkötelezte magát és országát amellett, hogy leállítják az ózont pusztító vegyi anyagok előállítását, és hogy ezek helyett ózonbarát megoldásokat fejlesztenek ki. A CFC-ket felváltották a HCFC-k (klórozott-fluorozott

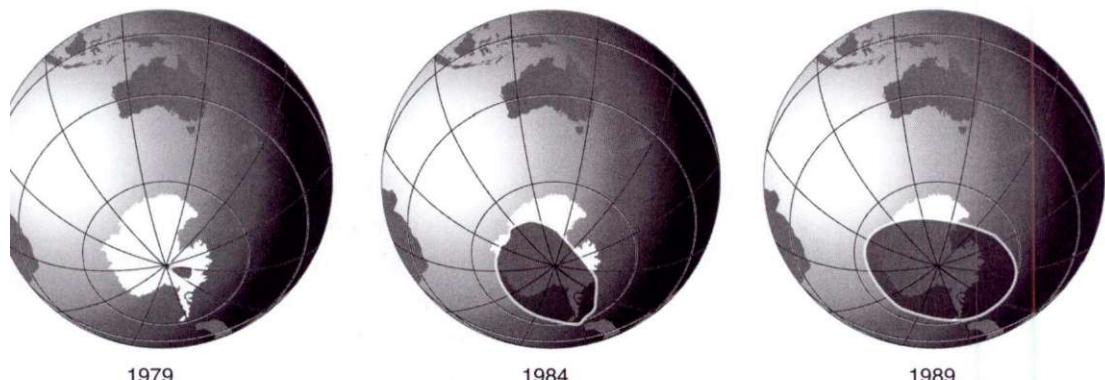
szénhidrogének), s végül olyan vegyületek követik, amelyek egyáltalán nem rombolják az ózonréteget: a HFC-k (fluorozott szénhidrogének).

Úgy tűnik, hogy a megállapodás sikeres volt. A tudósok megállították, hogy az elmúlt évtized alatt az ózont pusztító gázok előállításának megszüntetésével lelassult a sztratoszférában található ózonmennyisége csökkenése. Az amerikai óceán- és légkörkutató szervezet, a Nemzeti Éghajlati Adatközpont (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) szerint a Montreali jegyzőkönyv eredményeképpen esély van rá, hogy az ózonréteg regenerálódjon, és a következő 50-100 év során visszanyerje eredeti állapotát.

Az Antarktisz fölött már annyira elvékonyodott az ózonréteg, hogy minden tavasszal hónapon kon át ténylegesen egy „lyuk” tátong rajta.

A stockholmi Resilience Centre kutatóközpont 2009-es jelentése különféle, a civilizációnkat fenyegető környezeti kockázatokat térképezi.

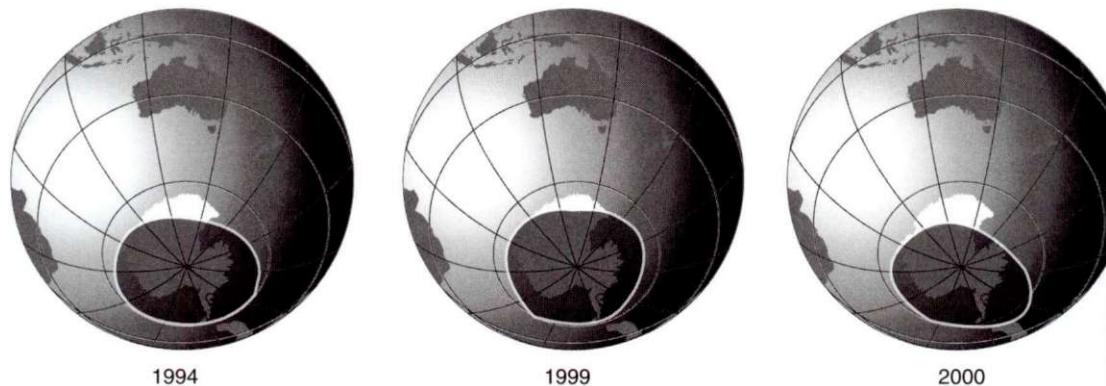
Az Antarktisz feletti ózonlyuk mérete az évtizedek során a felhasznált CFC-k és ózonpusztító vegyszerek mennyiségétől függően változott. Annak ellenére, hogy 1986-ban betiltották a használatukat, a CFC gázok még mindig jelen vannak a légkörben, és évekbe telhet, míg a lyuk teljesen eltűnik.



pezett fel, de a sztratoszféra ózonrétegének állapotát viszonylag egész-ségesnek nyilvánította. „Az Antarktisz feletti ózonlyuk megjelenése a bizonyíték arra, hogy az ember által létrehozott, ózonréteget károsító anyagok megnövekedett koncentrációja a sarkok feletti sztratoszféra felhőivel közösen új formáját alakították ki a légkör felső rétegeinek - áll a jelentésben. - A Montreali jegyzőkönyvet követő lépések szerecsére oda vezettek, hogy ma már úgy tűnik, jó úton haladunk afelé, hogy a probléma kezelhető keretek között maradjon.”

Dávid W. Fahey, a NOAA fizikusa szerint azonban a tartós sikeres számos tényezőn múlik. A kormányoknak továbbra is megfigyelés alatt kell tartaniuk az ózonréteget, hogy azonnal észrevegyék és reagálhassanak a hirtelen változásokra, és ugyancsak gondoskodniuk kell arról, hogy az aláíró országok betartsák a lefektetett szabályokat - a HCFC-k ipari termelésből való kivonása csak 2030-ra lesz teljes. A tudósoknak pedig arra kell összpontosítaniuk, hogy az

Lehet ugyan, hogy a CFC-ket betiltották, de nem ez az egyetlen olyan gáz, amely elpusztítja az ózonréteget.



újonnan kifejlesztett ipari vegyszerek ne tartalmazzanak ózonréteget károsító összetevőket.

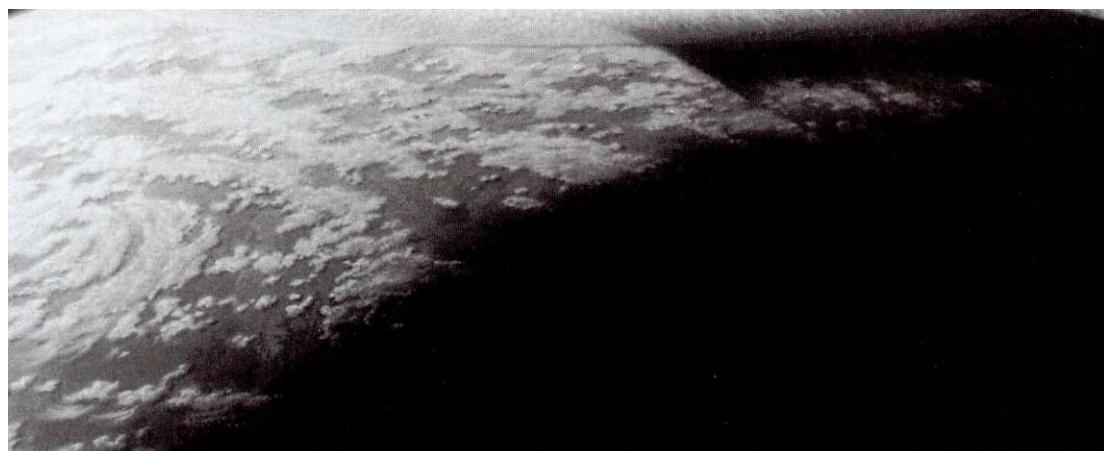
Van azonban még egy bökkenő. Lehet ugyan, hogy a CFC-ket tiltották, de nem ez az egyetlen olyan gáz, amely elpusztítja az ózonréteget. Ide tartoznak még a nitrogén-oxidok és a hidroxil-ionok is (utóbbiak akkor jönnek létre, amikor a vízmolekulák nagy magasságban hasadnak szét). A NOAA Földi Rendszer Kutatólaboratóriumában (Earth System Research Laboratory) dolgozó tudósok 2009-ben kimutatták, hogy ma már a dinitrogén-oxid az az emberi tevékenység során keletkező gáz, amely a legnagyobb mértékben károsítja az ózonréteget. A dinitrogén-oxid a mezőgazdasági és ipari termelés egyik mellékterméke, de a fogorvosok is használják mint altatógázt (ismert még kéjgáz néven is).

A NOAA tudósai kiszámították, hogy mivel ennek a gáznak az előállítását még sokáig nem tervezük leállítani, a nitrogén-dioxid a XXI. század végéig még biztosan tovább pusztítja az ózonréteget.

Egyelőre úgy tűnik, hogy az ózonréteg lassan regenerálódik, de biztosak lehetünk benne, hogy az elkövetkező évek során újabb veszélyforrásokkal kell majd szembenézni.

Szokványos katasztrófafilm-téma: hatalmas tömegű objektum száguld az űrben a Föld felé, a végzetes ütközés elkerülhetetlen. Ha a becsapódást követően fenn is marad a földi élet, drasztikus mértékű pusztítást fog elszenvedni.

Azsteroida- becsapódás



Dolygónk a múltban már átélt ilyen ütközést. A földtani vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy több nagyméretű objektum is eltalálta már Földünket. A dinoszauruszok - és az akkor élt fajok több mint fejének - kihalását egy 10 km átmérőjű aszteroida okozta, amely Mexikó térségében csapódott be 65 millió évvel ezelőtt. Szibériában, a Tunguzka-folyó vidékén 1908-ban 5000 km² erdőt tarolt le a Tunguz meteor, kint ismert, közel 100 m átmérőjű szikladarab, amely a felszín felett 6 km-rel felrobbant, és az ennek következtében felszabaduló energia 1000 Hirosimára ledobott atombomba energiájával ért fel.

1994-ben pedig először lehetünk szemtanúi két objektum összeütésének a világűrben, amikor a Shoemaker-Levy 9 üstökös darabjai eltalálták a Jupitert, és a bolygó felszínén a Föld méreténél is nagyobb sebeket ejtettek.

Efféle találkozásra a jövőben is számíthatunk. 2004 végén a tudósokat a 400 m átmérőjű Apophis aszteroida kezdte aggasztani, amely a gonoszság és pusztítás ősi egyiptomi szelleméről kapta a nevét. A hatalmas objektum az akkor végzett számítások szerint 2036-ban fog elzúgni közvetlenül a Föld mellett. A NASA becslései szerint, ha az Apophis eltalálná a Földet, a hirosimai atomrobbanás energiájának 100 ezerszerese szabadulna fel. A becsapódás közvetlenül több ezer négyzetkilométert tarolna le, de az egész bolygó megsínylené a légkörbe kerülő hatalmas mennyiséggű por káros hatásait.

Az eget kémlelve

Kétfajta objektum képes hasonló katasztrófát okozni a Földön. Az üstökösök a bolygóképződés során visszamaradt jégből és porból álló gömbök. Általában a Naprendszer peremén keringenek, de időnként előfordul, hogy a Nap gravitációs vonzása eltéríti őket, ilyenkor keresztezhetik a bolygók pályáját.

Az aszteroidák tömör sziklatömbök, amelyek mai tudásunk szerint a Mars és a Jupiter közötti térségen egy olyan bolygó létrejöttének a kezdeményei, amely végül soha nem alakult ki. Az ismert aszteroidák száma 1 millió körülire tehető, és a Földet átlagosan 100 ezer évente egyszer eltalálja egy ilyen, nagyjából 800 m átmérőjű objektum. A 6 km-nél nagyobb átmérőjű darabok, amelyek már tömeges kihalást okozhatnak, csak kb. 100 millió évente egyszer csapódnak be a Földbe. A szakértők szerint hamarosan esedékessé válik egy ilyen ütközés.

A NASA mintegy 900 ún. földközeli objektumot (Near-Earth Object, NEO) figyel, nehogy ezek túl közel kerüljenek bolygónkhöz. Ezek közül egyelőre egyik sem jelent közvetlen veszélyt, ráadásul az emberiség jelenleg akár képes is lenne felvenni a harcot az aszteroidák egy részével. A tudósok olyan szerkezetek kifejlesztésén dolgoznak, amelyek eltéríthatik vagy megsemmisíthetik a felénk tartó sziklatömböket.

A 6 km-nél nagyobb átmérőjű darabok, amelyek már tömeges kihalást okozhatnak, csak kb. 100 millió évente egyszer csapódnak be a Földbe. A szakértők szerint hamarosan esedékessé válik egy ilyen ütközés.

A becsapódás következményei

A Földet folyamatosan bombázzák az űrből több mint 16 km/s sebességgel érkező kődarabok. Naponta nagyjából 100 tonna kőtörőmelék éri el a bolygót, de ennek nagy része már a légkörben elég, és csupán a hullócsillagokhoz hasonló fényjelenségeket produkálnak. A felszínt elérő kisebb kövek és meteoritok rendszerint olyan intézmények gyűjteményeit gazdagítják, mint a londoni Természettudományi Múzeum (Natural History Museum) vagy a Vatikán.

Képzeljük el, hogy a Nap és a környező bolygók gravitációs ereje bevonz egy jókora sziklatömböt, amely ennek következtében célba ve-

Ha például egy 200 m átmérő-jű objektum az Atlanti-óceánba vágódna, az özönvíz minden várost elárasztana az amerikai, az európai és az afrikai kontinens partjain.

szi a Földet. Miután ez a kődarab 16 km/s sebességgel belépett a légkörbe, a felszíne felforrósodik, a külső rétegei párologni kezdenek, és immár tűzgolyóként száguld tovább a felszín felé. Az aszteroida körüli levegő hirtelen kitágul, ami az egész bolygón vé-

gigfutó lökéshullámokat és hangrobbanásokat kelt, amelyek több száz kilométeres körzetben minden épületet és a teljes növényzetet letarol.

A NASA 2003-as, a lehetséges aszteroidabecsapódásokkal foglalkozó jelentése szerint minden 150 m-nél kisebb átmérőjű test már a légkörben elég, és soha nem éri el a Föld felszínét, hogy ott krátert létrehozva becsapódjon, ahogyan az például 1908-ban Szibériában történt. Egy ilyen becsapódás közvetlen közelében minden beborítana a kőtörmelék.

Egy ennél (150 m-nél) nagyobb átmérőjű aszteroidának a nagy része már elérné a Föld felszínét. Ha az óceánban landolna, a becsapódás helyétől gigászi hullámok, hatalmas cunamiök söpörnének végig a vízen és elborítanák a tengerparti városokat. Ha például egy 200 m átmérőjű objektum vágódna az Atlanti-óceánba, az özönvíz elárasztana minden várost az amerikai, az európai és az afrikai kontinens partjain.

„Kisebb aszteroidák viszonylag gyakran eltalálják a Földet - itt most a pár ezer évente egyszer előforduló eseményekről beszélünk” - magyarázza Duncan Steel, a Salfordi Egyetem kutatója, az aszteroidák és üstökösök elismert szakértője.

A felszínbe becsapódó aszteroida hatalmas mennyiségű port is juttatna a légkörbe. Egy meglehetősen nagy erejű ütközés esetén a por-felhő egészen a sztratoszféráig emelkedne, az apró részecskék pedig

sokáig ott maradnának a bolygó légkörében. A napfény nem jutna át ezen a sűrű porrétegen, és a felszínen élő növények és a velük táplálkozó állatok elpusztulnának.

Meg tudjuk állítani?

Sok ötlet született már arra, hogyan állíthatnánk meg egy felénk tartó aszteroidát, kezdve a hatalmas, ūrben lebegő tükrökkel, amelyek elpárologtatják a sziklatömb egy részét, a nyers erő alkalmazásáig, amikor egy nekiütköző rakéta eltéríti a pályájáról az objektumot. A hollywoodi filmekből jól ismert megoldás - az aszteroida felszínén felrobbantott atombomba - azonban még várat magára.

Az eltérítés kétféleképpen valósítható meg: kinetikusán és a gyenge tolóerő módszer alkalmazásával. A kinetikus módszer során egy pillanat alatt megváltozik a szikla szerkezete - például nukleáris robbanótölöt vagy más, lökéshullámokat előidéző robbanóeszköz csapódik a sziklába. A gyenge tolóerő módszerek közé tartozik például, hogy az aszteroida felszínét fényvisszaverő vagy fényelnyelő festékkel fedik be, hogy a több vagy kevesebb elnyelt fény hatására jobban felmelegedjen vagy lehűljön a sziklatömb.

Bármilyen megoldást alkalmazzunk is, az aszteroida pályájában csak apró eltérést tudnánk ezekkel okozni, azonban egy ilyen parányi igazítás az évek során jelentős mértékű pályamódosuláshoz vezethet.

Az alkalmazott módszert mindenkor az adott aszteroida típusához kellettene igazítanunk. Némely aszteroida csak ún. törmelékhalmaz, azaz kő- és jégdarabok laza keverékéből áll, így ezekbe például értelmetlen

HALALOS KOCKAZATTAL
JÁRÓ ESEMÉNYEK

Földrengések

1:130 000

Aszteroidabecsapódás
(tömeges kihalás)

1:4 300 000

Cápatámadás

1:8 000 000

lenne rakétát lőni, mivel a becsapódás energiáját egyszerűen elnyelnék, hasonlóan az autókba beépített ún. gyűrűdési zónához.

Ilyen esetben több sikkerrel járhat, ha az aszteroida felszínének egy részét a napsugarak koncentrálásával megolvasztjuk: egy hatalmas napvitorla vagy tükör a Nap sugarait összegyűjtené és az aszteroida felszínére irányítaná, aminek következtében az részben elégne. A keletkező gázsugarak gyenge, de állandó tolóereje lassan új pályára állítaná a szikladarabot.

A hagyományos, tömör kőzetből álló aszteroidák esetében több megoldás is létezhet. Például egy hajtóművet erősíthetünk a felszínre, amely lassan, de folyamatosan tolná és hosszú időn keresztül apránként elmozdítaná az aszteroidát a pályájáról. Akár egy űrhajót is az objektum útjába vezérelhetünk, de nem azért, hogy fizikailag arrébb lökje azt, hanem hogy az ütközés következtében egy kráter keletkezzen a felszínében, és az ennek során kilökődő anyag mozdítsa el az aszteroidát az eredeti pályájáról.

Az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) már rendelkezik hasonló tervekkel az aszteroidák eltérítésével foglalkozó kísérletekre. Az ún. Don Quijote-küldetés két űrhajót vesz igénybe: a Hidalgo nagy sebességgel nekiütközne egy ilyen aszteroidának, miközben a Sancho megfigyelné a becsapódást, és rögzítené az objektum pályájának legapróbb módosulásait is.

Piet Hut, a princetonói Haladó Tudományok Intézetének (Institute for Advanced Study) munkatársa egy robot-vontatóűrhajó ötletét támogatja, amely az aszteroidához kapcsolódva elhúzná azt a Föld útját keresztező pályájáról. Ha a földi megfigyelőállomások és a keringési pályák kiszámításának segítségével idejében észrevesszük a fenyegető veszélyt, akár már 10 évvel a lehetséges becsapódást megelőzően elindíthatnánk az eltérítő műveletet.

A szakember szerint a vontatóűrhajó ereje egy nagy teljesítményű elektromos hajtóműrendszer - az ún. ionhajtómű - kifejlesztésén műlik.

Az új típusú hajtómű nem üzemanyagot égetne el, hanem úgy hajtaná előre az űrhajót, hogy töltéssel rendelkező részecskéket lövellne ki az ellenkező irányba. Ennek a tolóereje minimális - kb. annyi erőt fejt ki, mint a tenyerünkre helyezett papír -, viszont igen nagy hatásfokú és jóval hosszabb élettartamú, mint a hagyományos rakétahajtóművek. Hut professzor számításai szerint egy ilyen jármű akár egy 800 m átmérőjű földközeli objektum eltérítésére is alkalmas lehet.

Az ionhajtómű más típusú szondák esetében is kulcsszerepet játszhat. Az ún. gravitációs traktor nem szállna le az aszteroida felszínére, hanem a közelében lebegne, és az általa kifejtett gyenge gravitációs vonzás segítségével módosítaná az aszteroida pályáját.

Hogy elkerüljük az összeütközést egy aszteroidával, az több évtizedes tervezést és felkészülést igényel, amely során parányi pályamódosításokkal elérhető, hogy az objektum ne kereszesse a Föld pályáját.

Mennyi esélyünk van?

A Földet nagyjából 10 ezer évente találja el egy kb. 90 m átmérőjű objektum, amit általában 100 megatonna erejű légköri robbanás követ, amely az eddig tesztelt legnagyobb hidrogénbombánál is nagyobb erejű. A 900 m átmérőjű objektumok csupán átlagosan 100 ezer évente ütköznek a bolygóinkkal; ezek hatása felér 10 millió hirosimai atomrobbanással.

Monica Grady, az Open University meteoritszakértője szerint nem az a kérdés, hogy vajon bekövetkezhet-e egy aszteroida becsapódása a Föld felszínébe, hanem az, hogy mikor. „A kisebb kődarabok nagy része általában még a légkörben elég. Ugyanakkor nagyjából 100 ezer évente becsapódik a Földre egy 1 km-nél, és 100 millió évente egyszer egy tömeges kihalást kiváltó, 6 km-nél nagyobb átmérőjű aszteroida. Úgy tűnik, hamarosan esedékkessé válik egy újabb, ez utóbbit felérő találkozás.”

Afrika északnyugati partjaitól nem messze, az Atlanti-óceánban létezik egy sziget, amelyet csak kevés választ el attól, hogy darabokra essen. Ha a tengerbe omlik, a keletkező szökőár a világ több tengerparti nagyvárosát elöntheti, és a Föld élővilágában is végzetes pusztítást eredményezhet. Mindez bármelyik pillanatban bekövetkezhet.

Megacunami

a Palma a Kanári-szigetek egyik tagja, amelyet több millió évvel ezelőtt vulkáni tevékenység hozott létre. A sziget csodálatos fekvése miatt sok nyaraló érkezik ide, akiket az idilli napsütés és a sokféle állatfajt és növényt rejtő mély szurdokok vonzanak.

A Kanári-szigetek közül itt a legerősebb a vulkáni aktivitás. Mióta a spanyolok elfoglalták a XV. században, a sziget 7 hatalmas vulkánkitörést élt meg. Egy-egy ilyen kitörés komoly veszélyt jelent a helyiek számára, de van, ami még ennél is jobban aggasztja a geológusokat, az egész Földre gyakorolt hatása miatt. A szakemberek úgy vélik, egy jövőbeni kitörés a Man-szigetnél kétszer nagyobb méretű darabot szakíthat le a déli csúcskéből, amely a mélyből feltörő gázok folyamatos nyomásának van kitéve.

Ha ez a sziklaoriás az óceánba esne, az így keletkező, akár több száz méteres hullámok egy sugárhajtású gép sebességével terjednének tovább az óceán felszínén. A hatalmas vízfal, az ún. megacunami minden útjába kerülő szigetet elsöprne, és az észak-amerikai, európai, dél-amerikai és afrikai partokra nézve is végzetes lenne. Csak az Egyesült Államok keleti partvidékén emberek tízmilliói élnek, ahol La Palma szigetének szétesése következtében New York, Boston, Miami és Washington mind víz alá kerülne.

„A történelem legnagyobb természeti katasztrófája lenne - állítja Bili McGuire, a University College of London Aon Benfield Katasztrófakutató Központjának (Aon Benfield Hazard Research Centre) igazgatója. - A nagy természeti csapásokkal azonban az a gond, hogy mivel még nem tapasztaltunk meg hozzájuk hasonló eseményeket, azt gondoljuk, hogy soha nem is történhetnek meg velünk. A nagy természeti katasztrófákkal azonban az a gond, hogy mivel még nem tapasztaltunk meg hozzájuk hasonló eseményeket, azt gondoljuk, hogy soha nem is történhetnek meg velünk. Egyszerűen tudomást sem veszünk a veszélyről, pedig hasonló katasztrófák már többször is előfordultak.

A nagy természeti katasztrófákkel azonban az a gond, hogy mivel még nem tapasztaltunk meg hozzájuk hasonló eseményeket, azt gondoljuk, hogy soha nem is történhetnek meg velünk.

dúltak a földtörténet során. Nem várhatjuk el, hogy az ember jelenlété miatt ilyesmi többé ne következzen be. La Palma az Atlanti-óceánba fog omlani. Nem az a kérdés, hogy ez be fog-e következni, hanem hogy mikor."

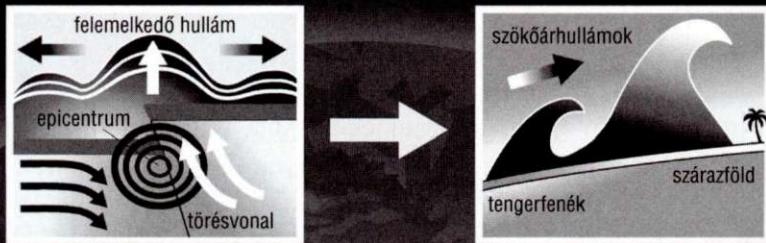
Még aggasztóbb, hogy La Palma csak az egyik olyan vulkanikus sziget, amely a tengerbe omolhat és gigászi cunamit indíthat el - több tücatnyi társa létezik a Föld óceánjaiban.

Mi az a megacunami?

Cunaminak nevezik a tengerben keletkező hatalmas szökőárt. Kiváló okai általában víz alatti földrengések vagy vulkánkitörések, de előidézhetik földcsuszamlások és aszteroidabecsapódások is.

A szökőárok általában 800 km/h sebességgel haladnak, a nyílt óceán felszínén pedig nem is kelt feltűnést egy ekkora hullám. Talán csak annyi érzékelhető belőle, hogy kissé megemelkedik a megszokott vízszint. Egy átlagos cunami hullámhossza (azaz az egymást követő hullámhegyek közötti távolság) 200 km-nél is nagyobb lehet, szemben a széláramlatok által keltett hullámok 90 m-es hosszával. Amikor a szökőár eléri a szárazföldet, és a part közelében az a víz, amelyben eddig haladt, egyre sekélyebbé válik, az óriási hullám összenyomódik és lelassul, a magassága pedig az egekbe szökik.

Az első közvetlen feljegyzés egy megacunamiról 1958-ban készült, amikor egy 7,7-es erősségű földrengés következtében 90 millió tonna szikla hullott a tenger mélyére Alaszka délkeleti részén, a Lituya-öböl környékén. A vízbe zuhanó kövek hatására egy 490 m-es szökőár-hullám keletkezett, amely minden területet elárasztott az öböl környékén, leszakította a talaj felső rétegét, kitörte a fákat és elsüllyeszítette a hajókat. A környéken szétszóródott sziklák tanúbizonysága alapján



Az Indiai-óceán térségében 2004-ben pusztító cunamiit az idézte elő, hogy egy földrengést követően a tengerfenék egy része hirtelen pár méterrel megsüllyedt. Ez azzal járt, hogy a fölötté tartózkodó teljes vízoszlop elmozdult, az így létrejövő óriási hullám pedig több száz km/h-ás sebességgel indult el minden létező irányba. A szárazföldhöz érve a hullámok összetorlódtak, jelentősen megemelkedtek és minden, ami az útjukba került, elsöpörtek.

a geológusok úgy vélik, hogy a Lituya-öböl már a múltban is, a XIX. és XX. századdal bezárólag, több megacunamit vészelt át.

A tengerekben évmilliÓk óta keletkeznek ilyen hatalmas, pusztító hullámok. Valószínűleg egy hasonló megacunami alakult ki a Yucatán-félszigeten, a Chicxulub-krátert létrehozó aszteroidabecsapódást követően, amely a dinoszauruszok kihalásához vezetett mintegy 65 millió

Az óceán egyszer csak viszszahúzódna, és az apály olyan alacsony lenne, amilyet még életünkben nem láttunk azelőtt. Megbabonázva állnánk ott, de a távolban már feltűnne a gigászi vízfal, amely éppen felénk tart.

A Mount Saint Helens hegycsúcsról 1980-ban levált egy több mint 400 m átmérőjű kőtömb és a közeli tóba zuhant, a nyomában kialakuló hullámok pedig 260 m magasra is felcsaptak.

Évvel ezelőtt. Egy másik aszteroida becsapódását követően, amely a Chesapeake-öböl kráterét hozta létre közel 35,5 millió évvel ezelőtt, hasonló óriási szökőárhullámok keletkezhettek.

A szárazföld belsejében sem ismeretlen a szökőár jelensége.

Mire számíthatunk La Palma szigetén?

A geológusok, egy következő cunami lehetséges helyszínei után kutatva, vulkáni eredetű szigeteket vizsgálnak, amelyeket vulkánkitörések hoztak létre, és ugyanezek az erők darabokra is szakíthatják. La Palma azért került a figyelem középpontjába, mert amikor 1949-ben kitört a szigeten található Cumbre Vieja, a sziget egyik nyugati földnyelvén repedés keletkezett. Ezzel egy időben egy hatalmas - 19 km széles és 500 km^3 térfogatú - szikladarab 4 m-t mozdult lefelé, a tenger irányába. A tudósok szerint ez a sziklatömb még ma is mozgásban van, és csupán egy újabb kitörés kell ahhoz, hogy teljes egészében az óceánba zuhanjon.

A lehetséges sziklaomlás számítógépes modellje azt mutatja, hogy a kő darabokra hullásának következtében felszabaduló energia biztosítani tudná az Egyesült Államok féléves áramfogyasztását.

Két perccel azt követően, hogy a sziklatömb a tengerbe zuhan, a kialakuló hullámok magassága elérné akár a 800 m-t is, és az így létrejött megacunami tíz perccel később már 240 km/h sebességgel száguldana.

Alig egy óra múlva a hullámok amplitúdója 90 m-re esne vissza, de addigra a környező szigetek már víz alá kerülnének, pár órán belül pedig a szökőárhullámok elérnék Afrika partjait és Európa nyugati peremét: Nagy-Britannia, Spanyolország, Portugália és Franciaország partvidékét.

Még Brazília északi partjait is 40 m-es hullámok ostromolnák, és nyolc órával a vulkán összeomlását követően a cunami már az észak-amerikai városokat fenyegetné.

„A mai Miami strandján állva az első dolog, amit észrevennénk, a tenger visszahúzódása lenne - mondja Gary McMurtry, a Hawaii Egyetem tanára egy BBC-dokumentumfilmben, La Palma lehetséges összeomlásával kapcsolatban. - Az óceán egyszer csak visszahúzódna, és az apály olyan alacsony lenne, amilyet még életünkben nem láttunk azelőtt. Megbabonázva állnánk ott, de a távolban már feltűnne a gigási vízfal, amely éppen felénk tart.”

A kikötői csatornákon keresztül kilométerekre a szárazföld belsejébe hatolnának a hatalmas hullámok, a cunami pedig milliók életének vetne véget, és több milliárd dolláros kárt okozna az épületekben és a termőföldekben. A hosszú távú gazdasági következményeit pedig még kiszámítani is lehetetlen lenne.

Mit tehetünk ellene?

Ha La Palma szigete ma esne szét, semmit sem tehetnénk, hogy megállítsuk az azt követő megacunamit vagy kiküszöböljük az okozott károkat. Mindenesetre, ha előre tudnánk a bekövetkező katasztrófáról, akkor legalább valamennyire fel tudnánk készülni a lehetséges következményekre vagy azok mérséklésére.

Bármely jövőbeni kitörése során összeomolhat a vulkán, ezt azonban már napokkal, sőt hetekkel azt megelőzően jeleznek körülötte a

földrengések, felszíni deformációk és a Föld mélyéből feltörő gázok és forró lávafolyamok. A vulkán állandó megfigyelése, különös tekintettel az ehhez hasonló jelekre, akár napokkal hamarabb is lehetővé tenné a katasztrófavédelem számára, hogy felkészüljön a tragédiára.

„A Cumbre Vieja kitörései között tíz, de akár száz év is eltelhet, a vulkán teljes összeomlását pedig több kitörés is megelőzheti - állítja Simon Day, az Aon Benfield Katasztrófakutató Központ munkatársa. - Ugyan kicsi a valószínűsége, hogy ez bármelyik évben bekövetkezzen, de az azt követő cunami hatalmas pusztítást végezne, és még a közvetett hatásait is világzerte megéreznénk. A Cumbre Vieja állandó megfigyelést igényel, hogy idejében észlelni tudjuk az összeomlást megelőző vulkáni tevékenység és földmozgások jeleit.”

A Csendes-óceán térségében már működik egy ilyen cunami-előrejelző rendszer az ott gyakran előforduló szökőárok miatt, és hasonlóra lenne szükség az Atlanti-óceán térségében is, hogy időben észrevehesük a figyelmeztető jeleket és továbbíthassuk az információkat.

Ha arra utalnának a jelek, hogy földrengés várható, a tudósok pedig úgy ítélnék meg, hogy ennek következetében a Cumbre Vieja nyugati földnyelve végleg leválna a szigetről, az országok politikai vezetőire várna a döntés, hogy elrendeljék-e az érintett területek kiürítését vagy sem. Nem lenne könnyű dolguk, de legalább idejében tudnának a közelgő veszélyről, ami még mindig sokkal jobb, mint eltakarítani a romokat a zsúfolt New York utcáira meglepetéssé szerűen lecsapó megacunami után.

A több ezer kilométerre élők először földrengésszerű mc[^] rajt hallanának. A zaj irányába nézve hatalmas, sötét ha mufelhőt pillantanának meg, amint a légkör felsőbb réte- neibe emelkedik. A kitörés nem sokkal ezután elérné és elpusztítaná az ō településeiket is

Szupervulkán

alán föl sem fognák, de a távoli vulkán keltette felhő pár száz kilométeres körzetében addigra már minden elpusztult, megégett volna vagy betemeti a por. Alig néhány óra elteltével megérkezne a tűzforró szél, amely éles kődarabok tömegét hozná magával, letarolná az épületeket, és minden, ami csak az útjába kerül, hamuvá égetne. Ez a forró szél elérné a városon túli partvidéket is, ahol felforralná a tenger vizét, a szökőár pedig az óceán felszínén a világban mindenholová továbbvinné a vulkán okozta rombolást. Egyetlen nap alatt elképzelhetetlen méretű pusztulás követné a hatalmas vulkán kitörését.

És ez még csak a kezdet lenne. A kitörést követő évek során milliárdok halnának éhen a mezőgazdasági termelés kiesése és az ivóvíz mérgezetté válása miatt. A modern világ gépezete leállna, és az emberiség felhalmozott műszaki tudása ellenére semmit sem tehetnénk ekkora pusztítás elkerülése érdekében.

Milyen egy szupervulkán?

A Föld számos tűzhányója képes olyan hatalmas, robbanásszerű kitörésre, amelyek egész országokat hetekre megbéníthatnak. A szupervulkánok azonban nagyon különböznek ezektől. Olyan hatalmas méretűek és olyan pusztító az erejük, hogy egyetlen kitörésük is globális következményekkel járna, hatásuk egy 900 m átmérőjű aszteroida becsapódásához hasonlítana a leginkább: hatalmas tűzvészek, porfelhők, törmelék és szökőárak követnék. A különbség csupán annyi, hogy egy szupervulkán kitörése 5-10-szer nagyobb valószínűsséggel következhet be az elkövetkező pár ezer évben, mint az, hogy egy aszteroida becsapódik a Föld felszínébe.

A geológusok becslése szerint nagyjából 100 ezer évente több globális katasztrófát okozó vulkánkitörés is előfordulhat. Amióta az emberek feljegyzéseket készítenek az ilyen eseményekről, nem történt eh-

hez hasonló: a Tambora (1815), a Krakatau (1883) és a Pinatubo (1991) hatalmas kitörései helyi szinten végeztek pusztítást és hónapokig érezhető volt a hatásuk az időjárásban, de az emberi civilizáció fennmara-dását egyikük sem veszélyeztette komoly mértékben.

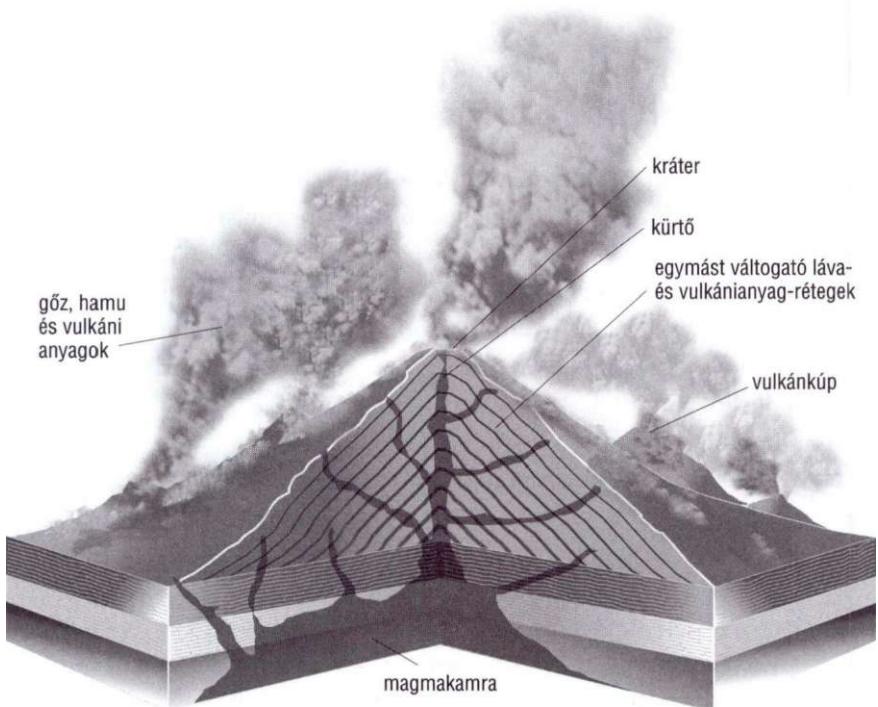
Egy szupervulkán a fentieknél több százszor nagyobb méretű lehet, pusztító ereje pedig még ennél is végzetesebb. Egész kontinenseket borítana el a sár, a hamu és a tűz. A Föld átlaghőmérséklete meghatározhatatlan időre lecsökkenne, miután a vulkánból kilövellő apro-szemcsék éloszlananak a légkörben és elzárnak a napfény útját.

Egész kontinenseket borítana el asar. ahamuesatuz emberek milliardiai halnanak ehen.

A mezőgazdasági termelés világméretekben lehetetlenne válna, megbénulna az élelmiszer-ellátás, és emberek milliárdjai halnának éhen.

Röviden összefoglalva, a vulkánok a földkéregben kialakult nyílások, amelyeken át magma, hamu és forró gázok lövellenek ki a mélyből. Általában a tektonikus lemezek találkozásánál helyezkednek el, és akkor törnek ki, ha a felszín alatti nyomás túlságosan megnő. Tudományos definíció szerint szupervulkánról akkor beszélünk, ha a kitörések több mint egybillió tonna (1000 km^3 térfogatú) vulkáni anyag lövelli ki. A geológiai feljegyzések szerint a legutóbbi ilyen esemény 74 ezer évvel ezelőtt történt, amikor a Szumátra szigetén található Toba tűzhányó működésbe lépett. Mindent, amit erről és egyéb szupervulkánokról tudunk, az ehhez hasonló kitörésekre utaló történelmi hatások alapján következtették ki a tudósok. A Toba, amelynek kitörése a leg-nagyobb volt az elmúlt 2 millió év során, a Mount Everest tömegénél kétszer nagyobb mennyiséggű, 2500 km^3 -nyi vulkáni anyagot juttatott a felszínre. A kitörést követően Indiát és Kína déli területeit 15 cm vastag hamuréteg borította be, amiből már 1 cm is elegendő ahhoz, hogy tönkretegye a termést.

A Toba 300-szor több vulkáni hamut hagyott maga után, mint amennyit a modern idők legnagyobb kitörése során az 1815-ben Indo-



A vulkánok olyan felszíni képződmények, amelyek a Föld mélyéből a földkérgen át feltörő olvadt kőzet és magma által alakulnak ki. A kéreg alatti nyomás hatására a földkéreg először meggörbüli, majd a megolvadt kőzetet és hamut a felszínre, a levegőbe juttatja.

néziában működésbe lépett Tambora juttattott a felszínre. Az utóbbi vulkánkitörést követő „nyár nélküli esztendők” alatt írta meg Lord Byron „Sötétség”⁸ (Darkness) című versét, Mary Shelley pedig híres regényét, a *Frankenstein*.⁹ Az északi féltekén kb. két éven át uralkodott a szokásosnál hűvösebb időjárás.

A Toba kitörésekor még nem létezett semmiféle civilizáció vagy infrastruktúra, ami károsodhatott volna, a szárnyait bontogató emberiséget mégis a kihalás fenyegette. Az átlaghőmérséklet bizonyos vidékeken 10 °C-kal is visszaesett, a kitörést követő ökológiai pusztulás során

pedig alig néhány ezren maradtak életben, épp akkor, amikor a *Homo sapiens* először hagyta el Afrikát.

Ráadásul nem a Tobáé volt a történelem leghatalmasabb vulkáni aktivitása. minden idők legnagyobb kitörése során, 27 millió évvel ezelőtt 9000 km³ kő és hamu lövellt ki a Fish kanyon Tufa esemény során, a mai Colorado állam területén. A szupervulkán-kitörések olyan pusztító erejűek, hogy a geológusok szerint a földtörténetből ismert tömeges kihalásokért is felelőssé tehetők, például a 250 millió évvel ezelőtt a perm-triászban bekövetkezett kihalási eseményt is okozhatta, hogy az ún. szibériai trap keletkezése során a tengeri fajok több mint 90%-a eltűnt a Föld színéről.

Mi történne a föld felszínén és a levegőben?

Hogy felhívja a figyelmet a szupervulkánok potenciális veszélyeire, a Londoni Geológiai Társaság (Geological Society of London) végiggon-dolta, hogy mi történne akkor, ha a parlamenttől alig 1,5 km-re következne be egy ilyen kitörés (amiről ők maguk is elismerték, hogy igen kicsi a valószínűsége).

„Ha egy ekkora szupervulkán a londoni Trafalgar Square-en törne ki, a felszínre jutó 300 km³ magma Nagy-London egészét 150 m vastag vulkáni kőzetréteg alá temetné - áll a jelentésben. - Egy ennél is nagyobb szupervulkán-kitörés ugyanezt a területet már 420 m vastag réteggel borítaná be. Mindebbe ráadásul nem számítana bele a hatalmas mennyiségű vulkáni hamuréteg, amely még az európai kontinensnél is nagyobb területet takarna be.”

A kitörés közvetlen környezete visszafordíthatatlan károkat szenvedne, az élet pedig szinte lehetetlenné válna, hiszen a hamu gyorsan belekerülne az édesvízkészletekbe. A sárlavinák eltorlaszolnák a folyókat és áradásokat okoznának.

Mindezen túl, több tízezer négyzetkilométeres területen a forró kőzetdarabokat és gázokat szállító hurrikánok, az ún. piroklaszt-árak hullámai okoznának hatalmas pusztítást. Ezeknek a hőmérséklete elérheti akár az 1000 °C-ot is, terjedési sebességük pedig megközelíti egy

**Ha egy ekkora szupervulkán
a londoni Trafalgar Square-en
törne ki, a felszínre jutó 300 km³
magma Nagy-London egészet
150 m vastag vulkáni kozetretег
ala temetne.**

körbe kerülő vulkáni hamu és gázok hatásai lennének a legjelentősebbek" - áll a jelentésben. Ez az igen apró szemcsékből, részecskékből álló, ún. aeroszolfelhő eljutna a légkör legfelső rétegeibe is, ahol elzárna a napfény útját a felszín felé, és megkötné a levegő páratartalmát.

„Ezek a gázok [...] rendszerint jelentős mennyiségű kén-dioxidot, szén-dioxidot és klór tartalmaznak - olvasható a tanulmányban. - A ki-

A PIROKLASZTAR

**hőmérséklete 1000 °C
sebessége 700 km/h**

törés során kilövelt por és gázok a sztratoszférába kerülnek, ahol vagy visszaverik a napsugarakat a világúrba, vagy elnyelik az energiájukat, ami lehűti a légkör alsóbb rétegét. Ez a jelenség vezetett az ún. vulkáni tél fogalmának megalkotásához. Az apró hamuszemcsékből álló szilikátpor kevesebb problémát okoz, mert csak viszonylag rövid ideig - hetekig, esetleg hónapokig - tartózkodik a sztratoszférában. A vulkánkitörést követő globális lehűlés fő okozója a kén-dioxid-gáz, amely a vízmolekulákkal reakcióba lépve kénsavcseppeket alkot, ezek azonban apró szemcsés állapotban (aeroszolként) akár két-három éven át is a sztratoszférában maradnak."

Egy szupervulkán kitörése elpusztítaná a világméretű kereskedelmi és élelmiszer-szállítási hálózatoktól nagymértékben függő civilizá-

sugárhajtású repülőgépét. „Nincs előlény, amely tulelné egy piroklasztárat - szögezik lè a geopolitusok.

Es ez meg csak nem is a legszörnyűbb dolog, ami történenhet. „Globális szinten a hirtelen a leg-

törés során kilövelt por és gázok a sztratoszférába kerülnek, ahol vagy visszaverik a napsugarakat a világúrba, vagy elnyelik az energiájukat, ami lehűti a légkör alsóbb rétegét. Ez a jelenség vezetett az ún. vul-

ciónkat. A légkörben megjelenő hamufelhők lehetetlenné tennék a légi közlekedést és megbénítanák a műholdas kommunikációt.

A Föld éghajlata akkor térne vissza a normális kerékvágásba, amikor az aeroszolok jelenléte már megszűnt a légkörben, de az igen összetett éghajlati rendszerek miatt a tudósok csak nehezen tudják megjósolni, hogy mindenki idő alatt következne be. A történelem során megfigyelt relatíve kisméretű vulkánkitörések, mint például a Krakataué vagy a Pinatuboé, arra utalnak, hogy a légkör aeroszolszintje csak néhány év elteltével kezdett csökkeni. „Kétszeres mennyiséggű aeroszol jelenléte a légkörben elvileg megduplázza az éghajlati hatásokat is. Az éghajlati rendszerek azonban ennél jóval összetettebbek, és fontos visszacsatolási folyamatok is részét képezik. így a többszörös gázmennyiségek hatásait nem lehet kellő biztonsággal előrejelzni” - állapítja meg a Londoni Geológiai Társaság jelentése.

A jégrétegekből vett minták legutóbbi vizsgálata kimutatta, hogy a Toba kitörését követően majdnem hat éven át tartott az aeroszolok hatása, aminek következtében a globális hőmérséklet 3-5 °C-kal esett vissza. Ez talán nem tünik jelentős lehűlésnek, de huzamosabb ideig fennálló 4 °C-os hőmérséklet-csökkenés akár egy űj jégkorszak kialakulásához is vezethet. A Londoni Geológiai Társaság szerint azonban „nagy körültekintést és jóval részletesebb modellekre épülő kutatást igényel, amikor egy olyan komplex rendszerben próbálunk ok-okozaati összefüggéseket felfedezni, mint a Föld éghajlata. Az Egyesült Királyság Meteorológiai Szolgálata (Meteorological Office) Hadley Intézetének tudósai által lefuttatott, egy Toba méretű kitörést szimuláló számítógépes klímamodellje azt az eredményt mutatta, hogy egy ilyen esemény következtében az északi féltékén akár 10 °C-kal is lecsökkenhet az átlaghőmérséklet. Ilyen lehűlés esetén elfagynának és kipusztulnának az Egyenlítő vidékén élő esőerdők.

Hol várható egy ilyen kitörés?

Több jelöltje is van a következő szupervulkán-kitörésnek. A Wyoming állambeli Yellowstone vulkán időről időre felfmorajlik a mélyen a Föld gyomrában kavargó olvadt kőzet mozgása következtében. A környező vidék párszor már megtapasztalhatta a vulkán erejét. 2,1 millió évvel ezelőtt a Toba kitöréséhez mérhető kilövellést produkált a Huckleberry Ridge nevű óriási tűzhányó, ami létrehozta az Island Park kalderát (vulkáni eredetű felszíni képződményt), és az Egyesült Államok szárazföldi területeinek nagy részét hamuval borította be. 1,3 millió évvel ezelőtt pedig egy kisebb kitörés hagyta hátra a ma Henry's Fork néven ismert kalderát.

Feltételezhető veszélyforrásnak számítanak még az Új-Zélandon található Taupo-tó és a Nápolytól nyugatra található Flegrei-mezők térsége Olaszországban. Hasonló, de ismertebb régió még Indonézia és a Fülöp-szigetek térsége, a geológusok ezeken kívül folyamatosan figyelik Japánt, a közép-amerikai országokat és a kelet-oroszországi Kamcsatka-félszigetet is.

Mit tehetünk a kitörés ellen?

Ha röviden akarunk válaszolni, semmit. És hiába is reménykedünk abban, hogy mégsem fog bekövetkezni - egy újabb hatalmas szupervulkán-kitörés elkerülhetetlen. „Nem az a kérdés, hogy bekövetkezik-e, hanem az, hogy mikor” - magyarázza Bili McGuire, az Aon Benfield Katasztrófakutató Központjának igazgatója a *New Scientistnek* adott interjúban.

Az olyan problémák, mint a globális felmelegedés, az aszteroida- és üstökösbecsapódások, a természeti erőforrások túl gyors felélése vagy az atomhulladék elhelyezése a világ politikai vezetőit és kormányait

arra késztetik, hogy az emberiség egészére nézve hosszú távú következményekkel járó ügyekkel kiemelten foglalkozzanak. Egyes országok már rendelkeznek különböző katasztrófaelhárítási tervekkel, és valami ehhez hasonlót kellene kidolgozni a szupervulkánok jelentette veszélyekre is - vonta le a végkövetkeztetést a Londoni Geológiai Társaság is. Feltették azt a kérdést is, hogy vajon mi történne, ha egyszerre kellettene Ázsia jelentős részéről több milliárd embert kitelepíteni, ugyanakkor ezzel egy időben Európát és Észak-Amerikát a mezőgazdaság több évig tartó összeomlása fenegetné?

„Ez nemcsak a képzelet szüleménye, hanem egy valamikor a jövőben valóban bekövetkező szupervulkán-kitörés égető problémája és annak elkerülhetetlen következményei - figyelmeztetnek a Londoni Geológiai Társaság munkacsoportjának tagjai. - Előbb vagy utóbb ez a szupervulkán-kitörés be fog következni, és ez olyan dolog, amit nagyon is komolyan kell vennünk. A jövőben talán képesek leszünk eltéríteni a felénk tartó aszteroidákat, de még a tudományos-fantasztikus irodalom sem kínál receptet arra, hogyan kerüljünk el egy gigászi szupervulkán-kitörést. Nem lehet elég szer elismételni: egyelőre nem ismerünk egyetlen olyan módszert sem, amely csökkenthetné ezeknek az erejét.”

A növények és az állatok éltető eleme az oxigén. Ha valamely oknál fogva a levegő vagy a tengervíz oxigéntartalma lecsökkenne, nem nehéz elképzelni, mi várna az élővilágra. Még kismértékű visszaesés is több milliárd élőlény azonnali pusztulását eredményezné, majd az összefüggő ökológiai rendszerben tőlük függő további milliárdokat is elérné a végzet.

Oxigén- hiány

z oxigén nélkülözhetetlen az élethez, de ne várjuk, hogy a Föld a jövőben folyamatosan rendelkezésre álló készletet tart fenn belőle a fel-színét benépesítő élővilág számára. Bolygóink története során e kulcsfontosságú gáz mennyisége többször is jelentős mértékben megváltozott. A kréta időszakban például, a dinoszauruszok idején, kifejezetten alacsony volt az óceán oxigéntartalma. Valószínűleg a megnövekedett tenger alatti vulkáni tevékenység következtében csökkent le az oxigén mennyisége, aminek nyomán tömeges mértékben pusztult ki az élet. A tudósok egyre többet tudnak meg erről a jelenségről és az ezt kiváltó geológiai eseményekről, és aggasztó párhuzamokat találtak a jelenlegi globális felmelegedéssel. Lehet, hogy a történelem arra készül, hogy megismételje önmagát?

Mi az az anoxikus állapot?

Mintegy 93 millió évvel ezelőtt a Földön szokatlanul erős volt a vulkáni aktivitás. Hatalmas mennyiségű láva gyűlt össze a tenger fenékén, ami a Karib-szigetekhez hasonló szigetláncok kialakulásához vezetett. Olyan meleg volt a bolygó klímája, hogy Alaszkában pálmafák nőttek, Kanada északi vidékein pedig hatalmas hüllők éltek.

Ugyanebben az időben a tenger oxigéntartalma vészesen lecsökkent, valószínűleg szintén a megnövekedett vulkáni tevékenység hatására. A tudósok szerint ezek a hatalmas lávatómbök leféltek az óceáni áramlatokat, így a szén és az oxigén körforgása is lelassult. A tengerfenékhez közeli vízrétegek rendkívül toxikussá váltak az élethez nélkülözhetetlen oxigén hiányában.

„Az ilyen oxigénhiányos, ún. óceáni anoxiás események (oceanic anoxic event, OAE) már többször is előfordultak a Föld története során, de egyik sem volt olyan pusztító, mint ami 93 millió évvel ezelőtt, a kréta időszakban következett be - írta Timothy J. Bralower, a Pennsyl-

vaniai Állami Egyetem geotudományi tanszékének munkatársa a *Nature-ben* 2008-ban megjelent cikkében. - Ez az anoxiás állapot okozta többek között a tengerfenéken élő, inoceramus néven ismert hatalmas kagylók és a likacsosházúak (foraminiferák, parányi egysejtűek) kipusztulását is. Az óceáni körforgásban beállt jelentős változások következtében hatalmas mennyiségű tengeri szerves anyag jött létre, majd maradt meg, amely ezt követően lassan olajjá alakult át."

Bralower azt is megvizsgálta, hogy az ekkoriban tapasztalható intenzív vulkáni aktivitás hogyan idézhette elő ezt a különös oxigéniányos állapotot. „Az egyik lehetőség az, hogy a vulkáni tevékenység során fémtartalmú mikrotápanyag lepte el az óceán felsőbb rétegeit, aminek hatására megnőtt a fitoplankton-termelődés, ez viszont a szerves anyag bomlása során fokozott oxigénfelhasználást eredményezett. Egy másik lehetőség szerint, amely nem zárja ki az előző verziót sem, a vulkánok által kibocsátott szén-dioxid-mennyiség globális felmelegedéshez vezetett, aminek következtében az óceán rétegzettsége még meghatározóbbá vált, így az alsóbb rétegekbe még korlátozottabb mértékben jutott el oxigén” - írta Bralower.

Ezek szerint, ha a Föld és az óceánok mélyéből feltörő hő és gázok korábban már több ehhez hasonló tömeges kihaláshoz vezethettek, akkor előfordulhat, hogy ugyanezek a végzetes, üvegházhatást létrehozó körülmények ismét kialakulnak? Peter D. Ward, a Washingtoni Egyetem biológia professzora és az őskori tömeges kihalási események szakértője szerint mindenlehetséges.

Ward szerint a múltbeli tömeges kihalások során zöld és bíbor kén-baktériumok lepték el az oxigéniányos, de kén-hidrogénben gazdag tengereket. A kőzetrétegek megőrizték a tömeges kihalások kémiai lenyomatát, és azt mutatják, hogy az efféle katasztrófális kipusztulások a múltban - például egy aszteroida becsapódását követően - meglehetősen ritkán fordultak elő. „A legtöbb esetben maga a bolygó idézte elő ezeket a korábban elképzelhetetlen mértékű pusztításokat - írta Ward

a *Scientific Americanben* 2006-ban megjelent cikkében. - Manapság pedig az emberi tevékenység teszi kockára a bioszféra épségét."

A professzor így folytatta: „A tudósok régóta tisztában vannakazzal, hogy a tömeges kihalások időszakaiban a mainál jóval alacsonyabb volt az oxigénszint, de ennek pontos okát még nem sikerült megfelelően beazonosítani. A legtöbb kihalási eseménnyel kapcsolatba hozható intenzív vulkáni tevékenység megnövelte a légkör szén-dioxid-tartalmát, aminek következtében lecsökkenhetett az oxigénszint, és intenzív felmelegedés indulhatott be - ez már régóta az egyik legnépszerűbb alternatív elmélete az aszteroidabecsapódásoknak.

**TENGERI HALOTT
ZÓNÁK**

Ugyanakkor a vulkáni tevékenység által előidézett változások nem feltétlenül magyarázzák meg a perm időszak végén bekövetkezett tömeges tengeri kihalási eseményeket. Ez az elmélet szintén nem állja meg a helyét a szárazföldi növények pusztulását tekintve sem, hiszen a megemelkedett szén-dioxid-mennyisége következtében inkább burjánzó vegetációnak kellett volna kialakulnia, amelynek még a felmelegedést is túl kellett volna elnie.”

A perm és a triász időszak végéről származó óceáni üledékben a tudósok megtalálták a kén-hidrogénnel (H_2S) táplálkozó baktériumok elterjedésének kémiai nyomait. „Ezek a mikrobák csak oxigénmentes környezetben képesek elni, de a fotoszintézishez napfényre is szükségeük van. Jelenlétéük a sekély vízi kőzetrétegekben azt mutatja, hogy a perm végén még az óceánok legfelső rétegeiből is eltűnt az oxigén, viszont annál gazdagabb volt kén-hidrogénben.”

A mai óceánokban igen egyenletesen oszlik el az oxigén, mert a légből a vízfelszínen keresztül felvett gázt az áramlatok a mélyebb rétegekbe is elszállítják. Egyes helyeken - például a Fekete-tengerben - bizonyos mélységen fellép az anoxiás állapot. Az itt uralkodó feltételek tökéletesek az olyan organizmusok számára, amelyek megélnek oxigén-

hiányos környezetben és kén-hidrogént bocsátanak ki, amely szintén képes feloldódni a tengervízben. Az így keletkező gázbuborékok formájában felemelkedik és összetalálkozik az éppen a víz felszínén feloldódó, lefelé áramló oxigénnel. A két zóna találkozásánál alakul ki az ún. chemocline réteg, ahol hemzsegnek az alulról felszálló kén-hidrogén és a fentről érkező napfény jelenlétét együttesen élvező zöld és bíbor kénbaktériumok.

„Geotudósok számításai szerint [...] ha az óceánok oxigénszintje lecsökken, az így kialakuló feltételek kedveznek a mélytengeri rétekben élő anaerob baktériumoknak, amelyek a számukra ideális környezetben elszaporodnak és még nagyobb mennyiségű kén-hidrogént állítanak elő - írta Ward. - A modellkísérlet kimutatta, hogy amennyiben a tenger mélyén az óceáni anoxia időszaka alatt a kén-hidrogén koncentrációja átlépett egy bizonyos kritikus szintet, akkor a mélytengeri, kén-hidrogénben gazdag rétegeket az oxigént tartalmazó felszíni régióktól elválasztó chemocline hirtelen felemelkedhetett a felszínre. Ez azzal a szörnyű következménnyel járhatott, hogy hatalmas buborékok formájában mérgező kén-hidrogén kerülhetett a légkörbe.”

A számítások szerint a perm időszak végén elegendő kén-hidrogén termelődött ahhoz, hogy az óceán mélyén keletkező gázbuborékok felszálljanak, és mind a tengerben, mind a szárazföldön tömeges kihalást okozzanak. Ward hozzáteszi, hogy további tudományos modellek arra mutattak rá, hogy a kén-hidrogén akár az élő szervezeteket a Napból érkező, káros UV sugárzástól megvédő ózonréteget is megtámadhatta.

„A perm időszak végén bekövetkezett ózonkárosodás bizonyítékaira leltek rá a Grönlandon gyűjtött fosszilis spórákban, amelyek a magas UV sugárzás hatására kialakuló deformitásokat mutattak. Ma is megfigyelhetjük az ózonlyuk alatti fitoplankton-biomassza mennyiségének gyors csökkenését. Ha a tápláléklánc alapját képező fitoplanktonok elpusztulnak, akkor nem kell sokáig várunk, míg a felettük elhelyezkedő élő szervezetek is kétségbbejtő helyzetbe kerülnek.”

A tudósok szerint a perm időszak végén a légkörbe kerülő - a növények és állatok pusztulását okozó - kén-hidrogén mennyisége két-
ezerszerese volt a mai vulkánok kitörésekor keletkezőknek. „Tudjuk,
hogy a többszörös tömeges kihalási események idején jelentős vulkáni
tevékenység is volt, amely során több ezer négyzetkilométer láva öntött
el a szárazföldet és a tenger fenékét. A hatalmas kitörések mellett
léktermékeként rengeteg szén-dioxid és metán került a légkörbe, ami
viszont gyors globális felmelegedéshez vezetett. Ám szénizotópos
vizsgalatok bizonyítékai szerint közvetlenül a kihalási hullámokat
megelőzően, többek között a legutóbbi perm, a tnasz, a júra,
a közep-kreta és a keso paleocen
időszakokban a szén-dioxid koncentrációja a sokszorosára nőtt, és néhány
száz ezer évig, de akár néhány millió évig is igen magas maradt"
- állt Ward cikkében.

Ha ez még nem lenne elég, az egyre melegebb óceánban egyre nehezebben oldódott fel az oxigén, aminek következtében viszont tovább nőtt a kén-hidrogén mennyisége. Ward szerint „az oxigénnel lélegző tengeri élőlények pusztulhattak el az elsők között, míg a fotoszintetizáló zöld és bíbor kénbaktériumok elszaporodhattak az oxigénihiányos óceán felszínén is. A kén-hidrogéntől megfulladtak a szárazföldi állatok és megrongálódott a bolygó védelmét biztosító ózonréteg, így egyetlen élő szervezet sem volt biztonságban a Földön.”

**Ha a tápláléklánc alapjat képező fitoplanktonok elpusztulnak,
akkor nem kell sokáig vannunk,
míg a felettük elhelyezkedő ellenőrzők is ketsegbejto**

kerülnék

Mi okozhat anoxiát ma?

A világ tengereiben több száz „halott zónát” ismerünk, ahol a kén-hidrogén mennyisége a lecsökkent oxigén mennyiségével vetekszik.

Az Egyesült Államok keleti partjainál, például a Chesapeake-öböl környékén jól megfigyelhetők ezek a zónák, de említhetnénk Japán és Kína déli partjait, az Adriai-tenger északi területeit és a Kattegat-szorost Skandináviában.

A *Science*-ben 2008-ban megjelent tanulmány 405 halott (anoxiás) zónát számolt össze, amelyek közül a legnagyobb a Balti-tengerben található - itt az év nagy része során a legalsó vízrétegekbe egyáltalán nem jut el az oxigén.

Ezeknek a zónáknak a kialakulását a termőföldek ből a tengerekbe szivárgó műtrágya okozza, amely nagy mennyiségben tartalmazza az algák elszaporodását elősegítő nitrogént. Amikor az algák elpusztulnak, lemerülnek az óceán fenekére, ahol a mikrobák - jelentős oxigenmennyiséggel felhasználása mellett - lebontják őket. Minél több alga lebeg a vízben, annál kevesebb az oxigén, aminek hatására eltűnnék a növények és az állatok, köztük a halak és a kagylók. A halott parti zónát ekkor lepik el az oxigéndús környezetet nem kedvelő mikrobák, amelyek ezután megnövelik a víz kén-hidrogén-szintjét.

Újra megtörténhet, hogy az anoxiás állapot tömeges kihalásokat idéz elő?

„Bár az arra vonatkozó becslések még mindig nem pontosak, hogy az egyes őskori kihalási események során mennyi szén-dioxid került a légkörbe, azt viszont tudjuk, hogy a kihalás bekövetkezéséhez milyen mennyiségre van szükség” - írta Ward. A paleocén végén bekövetkezett ún. termikus kihalás akkor kezdődött, amikor a légkörben található szén-dioxid aránya 1000 ppm volt, azaz 1 millió részecskéből kb. 1000 volt szén-dioxid-molekula. A triász végén bekövetkezett tömeges kihalás idején is 1000 ppm felett volt ez az érték.

Ma a szén-dioxid aránya a légkörben 390 ppm, így kellő biztonságban érezhetjük magunkat egy ilyen katasztrófától. Ám az ásványi-üzemanyag-felhasználásunk évente még mindig 2 ppm-mel emeli ezt az arányt, ami hamarosan évi 3 ppm-re fog emelkedni, ahogy a fejlődő világ országai egyre több olajat és szenet égetnek el.

Ráadásul nem csak a szén-dioxid miatt kell aggódnunk - ha a melegedés elér egy bizonyos szintet, a jelenleg hatalmas fagyott tömbökben (mintegy 10 ezer gigatonna mennyiségben) a tengerfenéken található metán elkezd felolvadni és fokozatosan a légkörbe kerül. A metán a szén-dioxidnál 25-ször erősebb üvegházhatású gáz, amely így jelentősen felgyorsítja a globális felmelegedés folyamatát.

Mindez azt jelenti, hogy a következő évszázad közepére vagy végére a szén-dioxid és más üvegházhatású gázok aránya a légkörben megközelítheti azt a szintet, amely elegendő ahhoz, hogy a Föld a korábbi kihalási események idején jellemző mértékben felmelegedjen. Addigra talán az óceáni anoxiás állapotot előidéző feltételek is fennállnak majd. „Vajon ez esetben meddig kellene majd várunk, hogy egy újabb, üvegházhatással előidézett kihalás végbenmenjen? - teszi fel a kérdést Ward. - Reméljük, erre a kérdésre soha nem tudjuk meg a választ.”

Az iránytű évszázadok óta segíti a hajósok és a sivatagi vándorok tájékozódását. Egy kis fémtű, amely a bolygó mágneses erőteréhez igazodik - egyszerű, megbízható eszköz. Egészen addig, amíg a Föld mágneses mezeje meg nem változik.

Geomágneses pólusváltás

a a Föld mágneses pólusai vándorolni kezdenének, az iránytű már is használaton kívül maradna. Ha bekövetkezne az elképzelhetetlen, és a pólusok fel is cserélődnének, a világ teljesen összezáradna.

Örülhetünk, hogy ez nem következik be, legalábbis nem túl gyakran. Ám a pólusok nagyjából 100 ezer évente egyszer valóban vándorútra kelnek, és végül felcserélődnek. Az, hogy mi közben eltévesztjük az irányt, csak az egyik aggasztó következmény.

Bolygónk mágneses mezeje nem csupán az élőlények tájékozódását segíti, bár kétségtelenül alkalmas arra. Fontosabb ennél, hogy kisugárzik az űrbe és pajzsként védelmez minket - ha a Napból érkező káros részecskék és a sugárzás akadálytalanul érnék el a felszínt, minden élő szervezet elpusztulna. A nagy energiájú sugárzás megtámadná a DNS-t, és a sérülékeny biológiai sejtekben visszafordíthatatlan károkat okozna. Arról nem is beszélve, milyen katastrofális lenne, ha a

világ elektromos rendszerei túltöltődnének, majd - akár örökre - leállnának.

Ha a pólusok felcserélődése során túl hosszú időre szűnne meg a Föld mágneses mezeje, az végzetes következményekkel járna.

Hogyan alakulnak ki a mágneses pólusok?

A Föld szerkezete kicsit olyan, mint egy szilva belseje: a kisebb szilárd magot eltérő vastagságú és sűrűségű, lágyabb rétegek veszik körül. A kontinensek és az óceánok a szilva héjának megfelelő, földkéregnek nevezett, viszonylag vékony külső szilárd rétegen helyezkednek el, amely alatt közvetlenül olvadt kőzet forrong: a közel 3200 km vastagságú köpeny. Ez alatt található a folyékony halmazállapotú, vasban gazdag külső mag, amely folyamatos mozgásban van a főként vasat és nikkelt tartalmazó forró, szilárd mag körül. A mag szilárd és folyékony része közötti kölcsönhatás eredményeként alakul ki a Föld mágneses mezeje.

A mag minden része igen forró (a belső hőmérséklete 4000 °C, a külső 6000 °C), amit részben a bolygó több milliárd évvel ezelőtti kialakulását követően megmaradt energia táplál, ám fő forrása az olvadt masszában jelen lévő, lebomló radioaktív elemek által kibocsátott energia. A külső mag folyamatosan mozgásban van, évente mintegy 10 km-t mozdul el. Ahogy ez a folyékony fém áthalad a mágneses erővonalakon, ún. örvényáramok keletkeznek, amelyek tovább gerjesztik a mágneses teret.

Hajlamosak vagyunk úgy elképzelni ezt a mágneses mezőt, mintha a Föld közepébe egy hatalmas mágnesrudat dugtak volna, amelynek két vége megközelítőleg a Föld jelenlegi mágneses pólusai felé mutat, ezekből a végpontokból pedig az iskolai kísérletekből ismert félkörívekhez hasonló erővonalak húzódnak. Ez a leegyszerűsített modell

nagyon hasznos is lehet, bolygónk mágneses mezeje azonban a valóságban ennél jóval összetettebb és változatosabb, mivel a felszín különböző pontjain eltérő intenzitású és irányú lehet ez az erő, ráadásul folyamatosan változik.

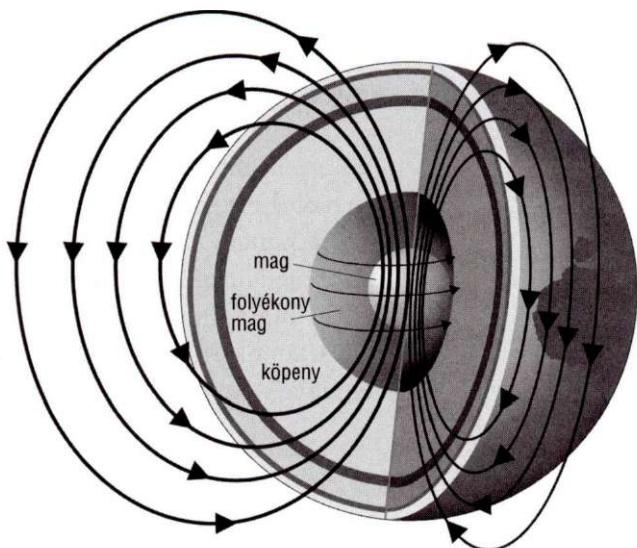
A Föld mágneses mezejének matematikai modellezésével a geológusoknak sikerült felfedniük e finom eltérések mintázatait. A Brit Földmérő Hivatal szerint a mag és a köpeny határán található, fordított mágneses áramlással jellemzett területek mérete az idők során megnőtt. „Itt az iránytű a környező régiókhoz képest mindenkor mindenkor előre mutat. Elsősorban az Atlanti-óceán déli része alatt található, hasonlóan fordított irányú mágneses áramlást mutató terület megnövekedése okozhatja a Föld kétpólusú mágneses mezejének gyengülését. Szintén ez tehető felelőssé a dél-atlanti anomáliaként is-

talanul érnék el a felszínt, minden

mert jelenségért, amelynek lényege, hogy Brazília északkeleti térségében az átlagosnál gyengébb a Föld mágneses mezejének védőpajzsa, ennek következtében ebben a régióban (az úrből érkező) nagytöltésű részecskék jobban megközelíthetik a bolygó felszínét, ez viszont megnöveli az alacsony pályán keringő műholdakra veszélyes sugárzás kockázatát.”

Miért vándorolnak a mágneses pólusok?

Időnként előfordul, hogy a folyékony, mozgásban lévő külső mag és a szilárd belső mag közötti kölcsönhatás kimozdítja a helyükből a pólusokat is, bár ennek pontos okairól egyelőre semmit sem tudunk. Mágneses pólusváltásról akkor beszélünk, amikor az északi és a déli pólus



A Föld mágneses mezejét a szilárd belső mag és a folyékony külös mag közötti kölcsönhatás hozza létre. Miközben elmozdulnak egymáshoz képest, a bennük lévő fémek rendszereken áthaladnak a mágneses erővonalakon, aminek következtében örvényáramok keletkeznek, tovább gerjesztve a mágneses mezőt.

felcserélődik. A legutóbbi ilyen esemény kb. 780 ezer évvel ezelőtt következett be.

Nincsenek megbízható adatok a korábbi pólusváltásokra vonatkozóan, így a tudósok annak kiszámításában, hogy nagyjából milyen gyorsan meg végbe egy ilyen esemény, a matematikai modellek mellett csak a közetekben megőrzött, a korábbi mágneses mezők kialakulásakor hagyott nyomokra támaszkodhatnak. Abban minden esetre egyetértenek a geológusok, hogy egy teljes pólusváltás jellemzően több ezer évig - földtörténeti léptékkel csak néhány pillanatig - tarthat, bár ennél gyorsabban végbenmű válásokra is találtak már bizonyítékok. Scott Bogue, az Occidental College geológusa 15 millió éves nevadai

kőzettminták vizsgálata alapján arra talált bizonyítékot, hogy a geomágneses pólusváltás akár négy év alatt is bekövetkezhetett.

Egy ilyen pólusváltás során a mágneses mező szerkezete a jelenlegi-nél jóval összetettebbé válna, és az iránytűk a tartózkodási helyünk-től

1 H

és a folyamatosan változó mágneses mezőtől függően mindenig más irányba

mutatnának. „Az egyik legizgalma-sabbel jellemzője a pólusváltásoknak,

másfél évszázad alatt hogy látszólag semmiféle periodicitást nem mutatnak - állítja az Egyesült Államok Földmérő Hivatala. - Ezek véletlenszerűen bekövetkező események, amelyek hol 10 ezer évente, hol 50 millió évente fordulnak elő.”

Mi történne az élővilággal?

A tudósok az 1980-as évek közepén kezdtek felfigyelni a geomágneses pólusváltások és a tömeges kihalások egybeeséseire.

„Számtalan cikk született az elmúlt két év során a Föld mágneses mezejének pólusváltásairól és az űrből érkező végzetes kimenetelű események lehetséges összefüggéseiről - írta J. A. Jacobs, a Cambridge-i Egyetem Föld-szakértője a *Nature*-ben 1986-ban. - A hirtelen megnövekedett érdeklődést az váltotta ki, hogy a kutatások szerint mind a pólusváltások, az üstökös- és aszteroidabecsapódások és a tömeges kihalások nagyjából 30 millió évenkénti ismétlődést mutatnak.”

Egy évvel korábban Dávid Raup, a Chicagói Egyetem geológus kutatója megvizsgálta ezeket a véletlen egybeesésnek tűnő eseményeket, és amellett érvelt, hogy nehéz egyértelmű kapcsolatot kimutatni a kihalások és a mágneses pólusváltások között. Szerinte lehet kapcsolat a tömeges kihalások és az aszteroidabecsapódások között, és nem zárható ki az összefüggés a becsapódások és a pólusváltások között. „Nem

lehetetlen, hogy némelyik pólusváltást egy üstökös vagy aszteroida becsapódása idézte elő. Ilyen értelemben a pólusváltások periodikus erőssédése és a periodikus kihalások közötti összefüggés jelentőssé válik - írta a *Nature*-ben. - Az elemzések eredményei közötti ellentmondások azt jelzik, hogy nem vonhatunk le egyértelmű következtetést, miközben lehetséges, hogy a biológiai kihalások, a mágneses pólusváltások és az aszteroidabecsapódások között valóban van kapcsolat."

Tekintsünk most el a múltbeli kihalási eseményektől! Vajon hogyan érintené a mai fejlett társadalmunkat egy ilyen pólusváltás? Azt biztosan állíthatjuk, hogy amennyiben a mágneses mező védőpajzsa megszűnne, a Föld felszínét elárasztaná az élőlényekre és elektromos berendezésekre egyaránt rendkívül veszélyes káros sugárzás. De menyire lenne ez pusztító?

A USGS szerint nem lesznek végzetesek a következményei. „Mágneses pólusváltások viszonylag gyakran, mintegy egymillió évente történnek, tömeges kihalások azonban csak minden 100 millió évben egyszer. Más szóval, a legtöbb pólusváltás gyakorlatilag nem vezet tömeges pusztuláshoz.”

A Földet körülvevő mágneses erővonalak hálója alkotja az ū. magnetoszférát, amely a Nap felől érkező nagy sebességű, elektromos töltéssel rendelkező részecskék sugaraitól véd meg bennünket. A USGS kiemeli azonban, hogy ugyanezt a célt szolgálja a légkör is. „Nem egyértelmű, hogy a Föld felszínét egy pólusváltás során meggyengült mágneses mező esetén elérő sugárzás elég erős lenne-e ahhoz, hogy - közvetve vagy közvetlenül - befolyásolni tudja a földi élet evolúcióját, és olyan katasztrófát idézzen elő, mint a dinoszauruszok kihalása. Valószínűsíthető, hogy a sugárzás erre nem lenne elegendő.”

A BGS szerint hiába mondaná fel a szolgálatot a magnetoszféra, a Föld légköre továbbra is „egy 4 m vastag betonfal” hatékonyságával védené meg bennünket az erős sugárzástól.

Vajon hogyan hatna a mágneses mező megszűnése a többi élőlényre? „Vannak olyan állatok, például a galambok vagy a bálnák, amelyek

a Föld mágneses mezejét használják a tájékozódáshoz - állítja a BGS. - Feltéve, hogy a pólusváltás néhány ezer évig is eltartana, ezek a fajok időközben több generación keresztül megtanulhat-

A pólusváltások véletlenszerűen bekövetkező események, amelyek hol 10 ezer évente, hol 50 millió évente fordulnak elő.

nának alkalmazkodni a megváltozott mágneses környezethez, és újabb tájékozódási módszereket fejleszthetnek ki."

Ez megnyugtatóan hangzik. Tegyük még hozzá, hogy ember előtti űseink valószínűleg már éltek a legutóbbi nagy geomágneses pólusváltás alatt, és ügy tűnik, sikerült gond nélkül átvészelnük, így meglehetősen nagy biztonságban érezhetjük magunkat akkor is, amikor ez esetleg ismét bekövetkezik.

Érdemes azonban itt egy kis kitérőt tennünk: űseink ugyan nem szenvédtek el komoly testi károsodást a pólusváltások során, de ki tudja, mi történne a mai fejlett civilizációkkal az iPhone, az elektromos hálózatok és műholdak világában, amelyek mind helyrehozhatatlan károkat szenvednének el a kozmikus, illetve a Nap káros sugárzásának következtében, ha a Föld mágneses védőpajzsa átmenetileg megszűne a pólusváltás idejére. Ez azonban már egy másik fejezet téma.

Hiába éltünk már át nagy viharokat, ilyesmire nem lehet felkészülni. A több mint 1000 km/h sebességgel száguldó széí minden letarol, ami az útjába kerül. Autókat, teherautókat és vonatszerelvényeket emel a levegőbe, egész erdőket tép ki a földből, és egész utcányi földrengésbiztos épületet szakít le az alapzatáról.

Szuper-ciklonok

Íképzelhetetlen méretű vihar tombol egy akkora területen, mint az Egyesült Államok kontinentális része. Óriási kődarabok röpködnek a levegőben, a partvidékeket pedig hatalmas szökőár fenyegeti. Mire elcsitul, számos országban egész városok válnak a földdel egyenlővé.

A pusztítás pedig csak ekkor kezd globális méretűvé válni. Mialatt a szélvihar a felszínen óriási darabokat tépett ki a földből, közben az ózonréteget is jócskán megtépázta. Idővel a Nap káros sugárzását fel fogó ózonpajzs nélkül a Földön kipusztul minden élet. A szuperciklon után nagyjából így nézne ki a világ.

Mekkora ez a viharzóna?

A tájfunként vagy ciklonként is ismert hurrikánok olyan légköri jelenségek, amelyek a tenger felszínén felhalmozódó felesleges energiát szippantják fel, majd szórják szét a világba és a világűr felé. A meleg vizű óceánokon - ide tartozik az Atlanti-óceán, a Karib-tenger, az Indiai-óceán és a Csendes-óceán nyugati része - minden évben tombol ilyen vihar. Az Atlanti-óceán északi részén például júniusban kezdődik és november végéig tart a hurrikánszezon, a nyár során folyamatosan melegedő víz fölött egyre erősödő viharokkal.

Az óceánok feletti levegőrétegek hőmérséklete normális esetben nem egyezik meg az alatta elhelyezkedő víz hőmérsékletével. Ennek egyik fontos következménye, hogy a meleg víz így képes elpárologni és csökkenteni a Napból közvetlenül érkező energia mennyiségett. A trópusi vizek felett folyamatosan kitörnek kisebb viharok, szintén a Nap által sugárzott melegnek köszönhetően.

A hurrikánok kialakulását az emelkedő energiaszint okozza. Ha például zivatarok keringenek egy alacsony légnagyomású terület felett, egymást erősítve egész ciklonrendszeret hozhatnak létre. A 119 km/h-t meghaladó sebességű viharrendszerét hurrikánnak nevezzük. A víz-

felszín feletti meleg, páras levegő folyamatosan táplálja a hurrikánt, és amíg a vihar a tenger felett marad, egyre nő a mérete. A hurrikán közepeiben kavargó meleg levegő felszáll, ezzel tovább csökkentve az ural-kodó légnyomást, aminek következtében a környező, magasabb légnyomású területekről újabb levegőtömeg áramlik be.

A hurrikánok 1-es kategóriájába a 119-153 km/h sebességgel kavargó viharok tartoznak, amelyek nem okoznak említésre méltó károkat. A hurrikán következtében kialakuló ún. vihardagályok néhány méter magasra csapnak fel, amelyek a szárazföldet elérve áradásokat okoznak. Az 5-ös kategóriába tartozó hurrikánok ezzel szemben már pusztító következményekkel járhatnak. Ezeket már 250 km/h-s sebesség, és akár 7 m-es vihardagályok jellemzik.

Egy átlagos hurrikán egy hétag is tombol, miközben 32 km/h-val szeli át az óceánt. Amikor eléri a partot, lelassul, hiszen itt megszűnik az energia-utánpótlása, és nagyobb a súrlódás. A Katrina hurrikán - az Egyesült Államok területén az eddigi legnagyobb pusztítást végző vihar - a 3-as kategória erejével érte el a szárazföldet, ám amíg a Mexikói-öböl meleg vízrétegei felett száguldott, magasabb kategóriába lépett át.

A klímaváltozásnak köszönhetően egyre több és egyre erősebb hurrikánok törnek ki. Az elmúlt évszázadban az Atlanti-óceán felszíni hőmérséklete $0,7^{\circ}\text{C}$ -kal emelkedett, és a *Nature-beri* 2005-ben megjelent tanulmány szerint az elmúlt 35 év során a 4-es és az 5-ös kategóriába tartozó hurrikánok száma világszerte majdnem megduplázódott.

Ugyanebben az évben fedezte fel Kerry Emmanuel, a Massachusetts-i Műszaki Egyetem (MIT) hurrikánszakértője, hogy az Egyesült Álla-

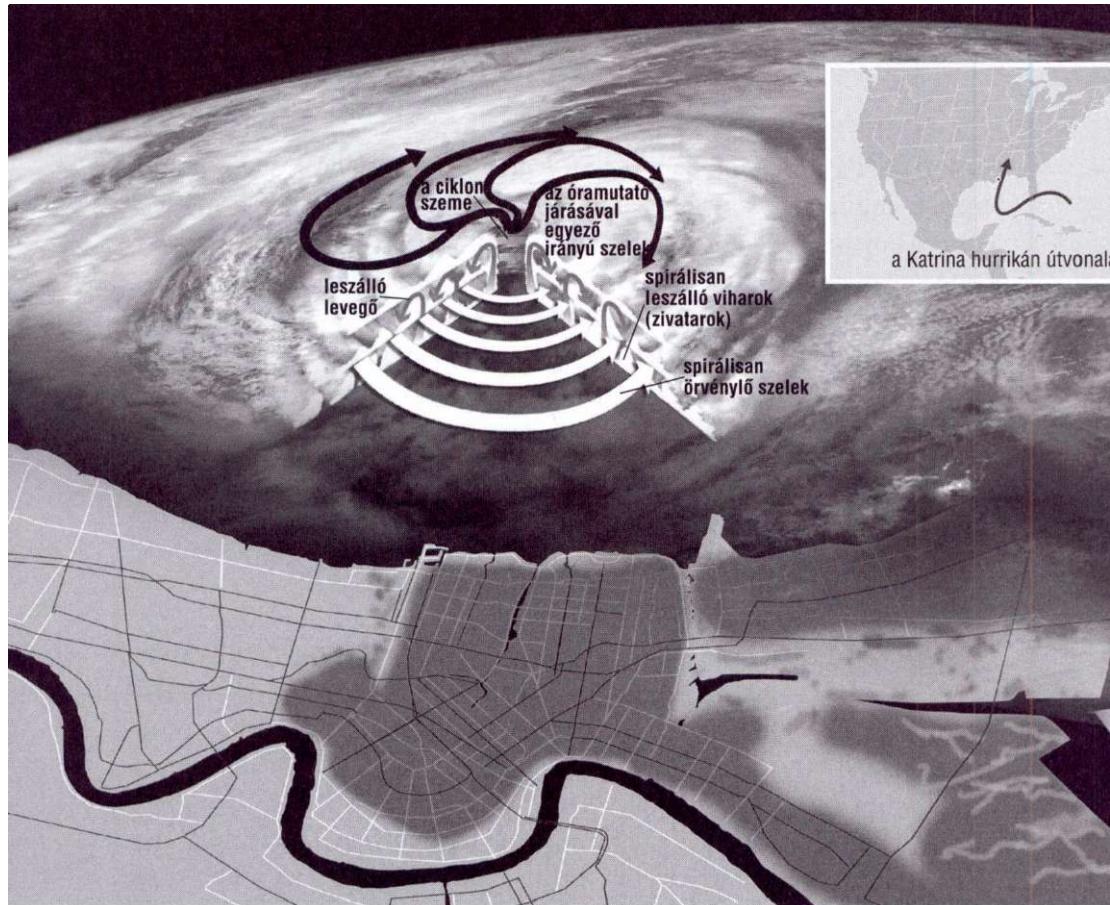
HURRIKÁNOK

1-es kategória:

szélökések sebessége: 153 km/h
vihardagályok magassága: 1,5 m

5-ös kategória:

szélökések sebessége: 250 km/h
vihardagályok magassága: 5,5 m
feletti



a Katrina hurrikán útvonal

Az ūrfelvételen jól látszik a hatalmas ciklonok valódi mérete. A viharos erejű szelek egy viszonylag nyugodt középpont körül keringenek, és az egész rendszert a tenger felszínéről felszálló hő energiája táplálja.

mok környékén megfigyelt nagyobb viharok időtartama és erőssége az 1970-es évek óta nagyjából 70%-kal nőtt meg. „Arra a következtetésre jutottam, hogy egy jövőbeni felmelegedés egyre pusztítóbb trópusi ciklonok kialakulásához vezetne, és tekintettel arra, hogy a part menti területek egyre sűrűbben lakottak, egyre súlyosabb hurrikán okozta károkkal számolhatunk a XXI. század során” - írta a *Nature*-ben megjelent cikkében.

A szuperciklon (hypercane) - Emanuel kifejezésével élve - tulajdonképpen egy „elszabadult hurrikán”, amely hatalmas mennyiségi vízet és port képes a sztratoszféra középső és felső rétegeibe juttatni, ahol ezután alapvető éghajlati változásokat idézhet elő, s ez komolyan veszélyeztetheti az élővilág fennmaradási esélyeit.

A *Journal of Geophysical Researchben* közölt 1995-ös tanulmányában Emanuel részletes modellen mutatta be a végzetes szuperviharok kialakulásához szükséges feltételeket. Arra az eredményre jutott, hogy egy szuperciklon jellemzően akkor alakulna ki, ha a tengerben egy legalább 50 km átmérőjű vízfelület legalább 45 °C-ra felmelegedne. Az így keletkező széláramlatok 1100 km/h-nál is nagyobb sebességgel kerügnének a szuperciklon középpontja körül, ahol a légnyomás lecsökkenne 30 kPa alá (a normális légköri nyomás általában valamivel nagyobb, mint 101 kPa), ami igen hosszú ideig táplálná a hatalmas forgószelet. Ez a középpont (a ciklon szeme) több száz km átmérőjű is lehetne, magának a szuperciklonnak az átmérője pedig több ezer km lenne.

Összehasonlításképpen: a valaha följegyzett legnagyobb hurrikán a Tip tájfun volt 1979-ben, amelynek belsejében 300 km/h sebességgel száguldott a szél, a középpontjában uralkodó légnyomás pedig 87 kPa volt. Emanuel úgy véli, hogy egy szuperciklon kialakulásához szükséges szélsőséges feltételek csak trópusi környezetben alakulhatnának ki.

A sztratoszféra károsodása

Az évente rendszeresen előforduló óriási ciklonok bizonyítják, hogy az általuk keltett viharos szélökések, vihardagályok és árvizek mennyire pusztítóak lehetnek. Ami viszont különösen veszélyessé teszi ezeket az életben maradásunk szempontjából, az a légkör felső rétegeiben, a nagyjából 20 km-es magasságban okozott kár.

„Környezeti hatásait tekintve, egy ekkora szuperciklon egyik legfőbb jellemzője az a képessége, hogy hatalmas tömegű anyagot juttat a sztratoszféra középső rétegeibe” - írta Emánuel. Egy 5-32 km átmérőjű keringő levegő, amely akár 20 km magasságig is felérhet, másodpercenként nagyjából 107 kg tömegű vizet lenne képes feljuttatni a sztratoszférába. Alig húsz nap alatt ez a levegőréteg megtelne vízzel, mi pedig hatalmas felhőket figyelhetnénk meg nagyon magasan a levegőben. Sajnos a fantasztikus látvány semmi jóval nem kecsegtetne.

A por és az aeroszolok betakarnák az egész Földet, így a felszínt elérő napsugárzás mennyisége lecsökkenne. Különös módon azonban nem ez okozná a legnagyobb gondot. A sztratoszférába kerülő hatalmas víztömeg komoly kémiai változásokat indítana el. A vízmolekulák szétesnének nagy reakcióképességű szabad gyökökre, olyan molekulákra, amelyek szabad elektronokkal rendelkeznek (vagy éppen hiányzik egy a külső pályájukról), s ezek képesek további, normális esetben jóval stabilabb molekulákat is széthasítani. Dióhéjban, a sztratoszférába kerülő vízpára tönkretné az ózonréteget.

A felhőkben lévő vízcseppek maguk is katalizálhatnak egy sor más kölcsönhatást: aktiválnák a tengervízből származó klórt, és deaktiválnák a nitrogén-oxidokat, ami tovább roncsolná az ózonréteget. Hasonló folyamat idézte elő az Antarktissz feletti ózonlyuk kialakulását is.

A védőpajzsoként szolgáló ózonréteg eltűnésével a Föld felszínén elő lényekre csak úgy záporoznának az UV sugarak. A szárazföldön és a tenger legfelső rétegeiben hamarosan minden élőlény elpusztulna, a növények és állatok eltűnésével pedig az emberi populáció is drasztikusan lecsökkenne.

Mennyi a valószínűsége egy ekkora vihar kialakulásának?

Az Emáuel által meghatározott feltételek alapján ahhoz, hogy egy szuperciklon kialakuljon, a tenger felszínének az eddig valaha mérténél jóval magasabb hőmérsékletűnek ($10-15^{\circ}\text{C}$ -kal melegebbnek) kellene lennie, és még a jelenlegi klímaváltozás hatására sem valószínű, hogy a trópusi tengerek hőmérséklete 45°C -ra hevüljön fel. Ehelyett sokkal valószínűbb, hogy egy ilyen szuperciklon csak a megkoronázása lenne egy másik katasztrófa-forgatókönyvnek: egy aszteroida becsapódásának vagy egy hatalmas tenger alatti vulkán kitörésének. Emáuel kiszámította, hogy az óceán felszínén egy jelentősebb terület akkor forrósodhatna fel ennyire, ha egy legalább 10 km átmérőjű aszteroida csapódna be a sekély vízbe. A másik lehetőség az, hogy egy hatalmas tenger alatti tűzhányó kitörése során a rajta nyugvó víztömeg elég sokáig mozdulatlan marad ahhoz, hogy felette kialakuljon egy szuperciklon.

A dinoszauruszok kihalása is hasonló módon történt. Emáuel úgy véli, hogy a mexikói Yucatán-félszigetbe 65 millió ével ezelőtt becsapódott aszteroida előidézte egy szuperciklon kialakulását, amelynek hatására a legtöbb faj eltűnt a Földről. Akkoriban sekély tenger borította azt a területet, amely az ütközés következtében elhagyta a medret, majd a víz visszaáramlott a forró kráterbe és a ciklon születéséhez kellő mértékben felmelegedett. Ez indította el a globális pusztítást.

A növények és állatok eltűné sével az emberi populáció is drasztikusan lecsökkenne,

Globalizált világunk elektronikai rendszerek sorától függ, amelyek távoli országokban élő emberek között teremtenek kapcsolatot, mindezt pedig a világot behálózó elektromos hálózatok működtetik. Ennek a két, évtizedek óta épülő és egyre fejlődő hálózatnak köszönhető, hogy ilyen olyan magától értetődően minden szinte azonnal a rendelkezésünkre áll. Csakis valami hatalmas doleg lenne képes rá, hogy ezt a szerteágazó rendszert egyszerre bénítsa meg. Nos, bolygónk éppen a körül az égitest körül kering, amely képes lenne erre.

Napviharok

Nap felszínén rendszeresen fordulnak elő Föld-méretű viharok, amelyek következtében káros sugárzás és részecskék távoznak az űrbe. Ezek a veszélyes energianyalábok többnyire a világűr mélyére távoznak. Mi történne azonban, ha a Föld éppen az útjukba kerülne? Elbúcsúzhatnánk az internettől és a teljes áramellátástól. A bankok és kormányok működésképtelenné válnának, a műholdak leállnának. Egy ilyen napvihar visszarepítene bennünket a kőkorszakba.

Mi az a napvihar?

A Napból áradó végtelen energia nélkül a Földön az élet sem alakult volna ki. Mindebből azonban nem feltétlenül következik, hogy a csillagunk egy végtelenül jóindulatú égitest, amely sosem tudna ártani nekünk.

A többi csillaghoz hasonlóan a mi Napunk is hatalmas energiákkal rendelkező, fortyogó gáztömeg, amely rengetegféle sugárzást bocsát ki a növények fotoszintéziséhez elengedhetetlen fénytől kezdve az olyan nagy energiájú részecskéig és sugarakig, amelyek némelyike bármit darabokra szed, ami a Földön az útjába kerül.

A Föld védőpajzzsal veszi körül magát, hogy a veszélyes sugárzást távol tartsa, miközben az élet számára jótékony energiákat beengedi. Ez a magnetoszférának nevezett pajzs visszaveri a Nap legkárosabb sugarait, és megakadályozza, hogy ezek elérjék a Föld felszínén kialakult élet rájuk érzékeny molekuláit. Normális esetben mi mindebből a nagy energiájú sugárzásból csak a sarki fényt, az aurora borealist, és annak déli féltekén előforduló párrát, az aurora australist észleljük.

Időnként előfordul azonban, hogy a Nap a szokásos sugárzáson kívül másat is kibocsát. A felszínén keletkező mágneses viharok napkitörésekkel (flerekkel), azaz olyan robbanásokat idézhetnek elő, amelyek egyetlen alkalommal másodpercenként a Nap teljes energiakibocsátásának egyhatodát képesek elérni. Ha a viharok különösen erőteljesek,

koronakidobódások (coronal mass ejection, CME) keletkezhetnek, azaz hatalmas plazmafelhők löködnek ki 8 millió km/h sebességgel, amelyeket nagy energiájú protonok és elektronok, és kisebb mennyisé-gű hélium, oxigén és vas alkotnak.

Amennyiben ezeknek az extrém eseményeknek a hatásai elérnek a Földet, az végzetes következményekkel járna - az elektromos hálózatokat, a műholdakat működésképtelenné tennék és zavart keltenének az elektronikai rendszerekben. Ráadásul a nagy magasságban repülő

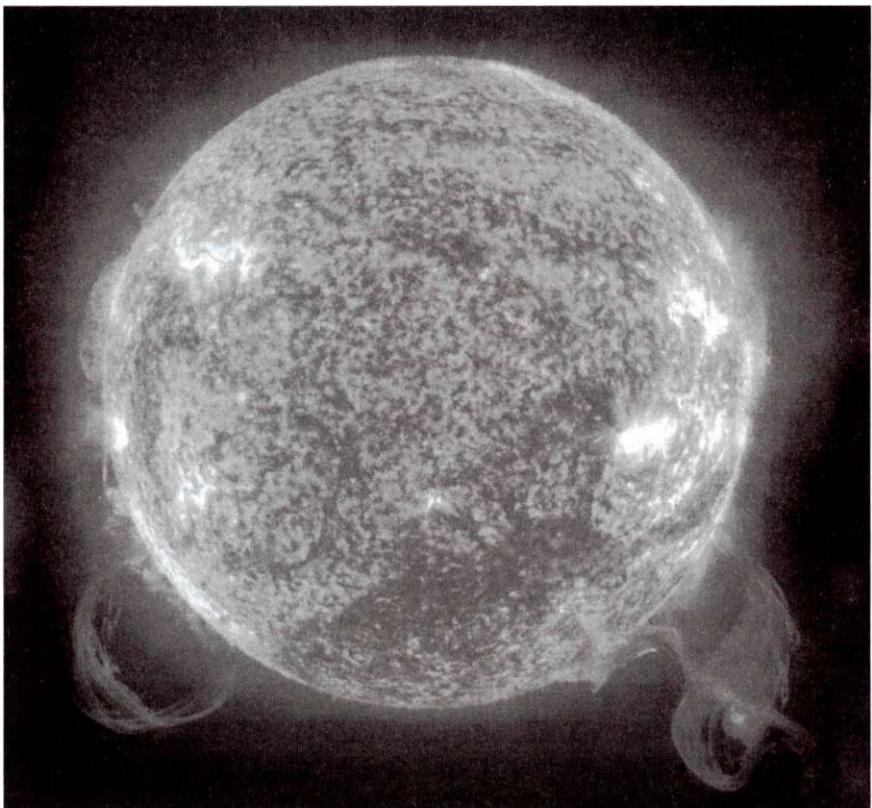
A bankok és kormányok mű-kódésképtelennek válnának, a műholdak leállnának. Egy ilyen napvihar visszarepítene bennünket a kőkorszakba.

látható hullámok mellett jóval veszélyesebb gamma-, UV és röntgensugarakat is tartalmaz), s ez a Földet elérve a külső légkör ionizációját idézné elő. Az emberek biztonságban lennének, de a GPS-t és más műholdrendszereket komolyan befolyásolná. Thomas Bogdán, a colorádói Śridőjárás-előrejelző Központ (Space Weather Prediction Centre) igazgatója szerint „a GPS kulcsszerepet játszik a minden napjainkban. Mindenhol létfontosságú a zavartalan áramellátás és a műholdak által biztosított szolgáltatások. Valahányszor egy benzinkúton megtankolunk és hitelkártyával fizetünk, akkor is műholdon keresztül történik a tranzakció, a légi közlekedésről és a telekommunikációról nem is beszélve. Mindennapi életünk rendkívüli mértékben függ ezektől a dolgoktól, amelyek azonban nagyon is kiszolgáltatottak az ůridőjárásnak.”

Az első napkitörést követően 10-20 perccel egy nagy energiájú protonfelhő érné el a Földet. Bogdán szerint „ez súlyosan veszélyeztetné a Föld körül keringő műholdak kényes elektronikai rendszereit, mivel megfelelő védelem hiányában a központi számítógépek által vezérelt tevékenységekben komoly problémák jelentkeznének”.

gépeket fokozott mértékben érné a veszélyes sugárzás.

Egy tipikus esetben a Nap fel-színén keletkező napkitöréssel együtt elektromágneses sugárzás is keletkezne (amely a rádió- és a



2003-ban a SOHO űrszonda lencsevégre kapta a Nap felszínén keletkező két protuberáciát. A jobb oldalon látható (és valószínűleg a bal oldali is) összefüggésbe hozható azzal a napkitöréssel és koronakidobódással, amely a kép készítésének pillanatában történt a Nap felszínén. A protuberenciák nagyjából 20 földnyi távolságra nyúlnak ki a Napból.

További 10-30 órával ezután egy koronakidobódás érné el a Föld mágneses terét, amely jelentős elektromágneses ingadozásokat idézne elő a magasfeszültségű elektromos hálózatokban. Mindez olyan nagy áramszünetet eredményezhet világszerte, amilyen 1989-ben Québecben alakult ki. A világ óriási területei felett érzékelhetnénk a sarki fényhez hasonló fényjelenségeket az égbolton.

„Az ūridőjárás a világon mindenhol hatással lehet az emberek személyes biztonságára és a gazdasági életre is. A Napból érkező 8 millió

Az ūridőjárás a világon mindenhol hatással lehet az emberek személyes biztonságára és a gazdasági életre is. A Napból érkező 8 millió km/h sebességű elektromos töltésű gázelhők bármikor előzetes figyelmeztes nélkül rajtunk üthetnek.

következményekkel járna: az okozott kár az első év során csak az Egyesült Államokban elérné a 2000 milliárd dollár nagyságrendet, a helyreállítási időszak pedig akár 4-10 évig is eltarthatna.”

km/h sebességű elektromos töltésű gázelhők bármikor előzetes figyelmeztetés nélkül rajtunk üthetnek - figyelmeztet John Holdren és John Beddington, Barack Obama és az Egyesült Királyság kormányának tudományos fótanácsadója egy 2011-ben közösen publikált állásfoglalásban. - Egy ilyen esemény nagyon komoly

Történelmi példák

Az eddig megfigyelt napviharok közül a legnagyobb 1859-ben következett be. Richárd Carrington brit csillagász különös események sorozatát figyelte meg, köztük hirtelen megbolondult iránytűket, és délen, Kuba környékén megjelenő sarki fényt az égbolton. Akkoriban még nem volt számottevő az elektromos infrastruktúra a világon, de a napvihar az akkoriban kiépült távírórendszerben elektromos hullámokat keltett. Bogdán szerint „ezek olyan erősek voltak, hogy a távírókezelők akkor is tudtak üzenetet küldeni, amikor a rendszert működtető energiaforrásokat lekapcsolták”.

Holdren és Beddington további eseményeket is felvázol. „1921-ben az ūridőjárás elvágta a kommunikációt és tűzeseteket idézett elő az Egyesült Államok északkeleti részén. 1989 márciusában egy geomágne-

ses vihar 90 másodperc alatt Kanada Hydro-Québec áramellátó rendszerének összeomlását idézte elő, és emberek milliói 9 órán keresztül áram nélkül, teljes sötétségben maradtak. 2003-ban két intenzív vihar alig 19 óra alatt tette meg az utat a Napról a Földig, ahol áramszünetet okoztak Svédországban, és zavart keltettek a műholdak működésében, a műsorközvetítésben, a repülésirányításban és a navigációban."

Különösen az 1989-es napvihar vált emlékezetessé, mint annak a példája, hogy milyen hatással lehet egy ilyen esemény a modern infrastruktúrára. „1989. március 10-én, pénteken a csillagászok hatalmas robbanást észleltek a Nap felszínén. Percek múlva az égitest felkavarodott mágneses mezeje milliárd tonnás gázfelhőt bocsátott ki magából. Olyan volt, mintha egyszerre több ezer atombomba energia szabadult volna fel - írta le az eseményt Sten Odenwald, a NASA csillagásza. - A robbanással együtt járó napkitörés azonnal interferenciát okozott a rövidhullámú rádióadásokban, köztük a Szabad Európa Rádióéban, a Szovjetunióban. mindenki azt hitte, hogy a Kreml zavarja a műsorsugárzást, pedig csak a Nap tevékenysége okozta.”

Ugyanezen év március 12-én a koronakidobódás is elérte a Föld mágneses terét, hatalmas geomágneses vihart keltve. Az égen látványos fényjelenségeket figyeltek meg, a föld felszínén pedig, például Észak-Amerikában ingadozások léptek fel az áramellátásban. „Március 13-án, röviddel hajnali 2 óra 44 perc után ezek a hullámok elérték a québeci áramhálózat gyenge pontját - idézi fel Odenwald. - 2 perc múlva a teljes québeci áramellátó rendszer leállt. Az ezt követő, 12 óráig tartó áramszünet során emberek milliói egyik pillanatról a másikra elsötétült irodákban, föld alatti gyalogátkelő alagutakban és elakadt liftekben rekedtek. A legtöbben kihűlt otthonokban ébredtek és fogtak

Nagyon is reális azzal számolunk, hogy [a napvihar] gyakoribbá fognak válni. A két legfontosabb dolog, amit ezzel kapcsolatbari lehetünk: az előrejelzés és a felkészülés.

neki a reggelijüknek. Az áramszünet idejére kiürültek az iskolák és a munkahelyek is, a montreali metrót zárva tartották a reggeli csúcsidőszakban, és a Dorval repülőtér sem üzemelt.

Ezalatt az ūrben a NASA TDRS-1 műholdja órákra elhagyta a pályáját, és a Discovery ūrsikló rejtélyes problémákat észlelt az üzemanyagcellák hidrogénellátását biztosító magasnyomású tartályok szenzoraiban.

Mennyi a valószínűsége?

2011-ben az Amerikai Szövetség a Tudomány Fejlődéséért (American Association for the Advancement of Science) Washington D. C.-ben tartott gyűlésén John Beddington egyértelmű kijelentést tett: „Az ūridőjárás ügyét nagyon komolyan kell vennünk. Az ūridőjárás szempontjából viszonylag nyugodt időszaknak lehetünk szemtanúi az utóbbi időben, de ennek hamarosan vége. Ez idő alatt rendszereink potenciális sebezhetősége drámai mértékben megemelkedett, legyen szó akár az áramhálózatainkról, akár a GPS-navigáció nélkülözhetetlenségről az élet szinte minden területén.”

Jane Lubchenco, az Egyesült Államok Nemzeti Éghajlati Adatközpontjának munkatársa egyetért ezzel. „Nagyon is reális azzal számolnunk, hogy [a napviharok] gyakoribbá fognak válni. A két legfontosabb dolog, amit ezzel kapcsolatban tehetünk: az előrejelzés és a felkészülés.”

Nem ok nélkül hívták fel a figyelmet a cselekvés szükségeségére. Napviharok bármikor előfordulhatnak, de nagyjából 11 évente jóval intenzívebbé és gyakoribbá válnak. A jelenlegi ciklus tetőpontja kb. 2013-ra várható. A legutóbbi aktivitási tetőpont óta eltelt időszak alatt jelentős mértékben megnövekedett rászorultságunk az elektronikai technológiákra, így kiszolgáltatottságunk is az ūridőjárásnak.

„A Metatech Corporation 2008-as tanulmánya kímélettel kimutatta, hogy egy 1921-es napviharhoz hasonló esemény ma több mint 130 millió ember életét befolyásolná azonnali vagy hosszan tartó hatásokkal, amelyek az Egyesült Államok szociális és technikai infrastruktúráját is érintenék” - szerepel Holdren és Beddington 2011-es állásfoglalásában. Hozzáttétek, hogy a londoni székhelyű Lloyd's biztosítócég jelentése szerint „egy komolyabb áramszünet olyan működési zavarok sorozatához vezethetne, amely az egész társadalmat és a globális gazdaságot is komolyan megbénítaná”.

Mit tehetünk?

A teendő egyrészt a Nap tevékenységének még pontosabb megfigyelése. Annyi idő alatt, amíg a napvihart követő káros sugárzás a Napból a Földre ér, a hatóságok felkészülhetnek a közelgő elektromágneses zavarokra.

Az áramellátást biztosító cégeknek ugyanakkor a felkészülés részeként meg kell erősíteniük az elosztóközpontok transzformátorait, és kondenzátorokat kell beépíteniük a rendszerbe, amelyek képesek a komoly problémákat okozó esetleges áramingadozásokat kiegyensúlyozni. A kulcsfontosságú műholdakat megfelelő védelemmel kell ellátni - annak figyelembevételével, hogy minden újabb felszerelés a műhold világűrbe juttatásának és üzemanyagának költségeit növeli.

„Egyes megelőző intézkedéseknek azonnal érzékelhető a hatásuk, míg mások csak hosszabb távon válnak kifizetődővé - állítja Holdren és Beddington. - A legfontosabb jelenleg az, hogy megtervezzük, ki-próbáljuk és alkalmazni kezzük a leghatékonyabb védelmi intézkedéseket, ugyanakkor megfelelő információval lássuk el a nyilvánosságot a kockázatokról és a megelőzés lehetőségeiről.”

A Föld helyzete és keringése a Nap körül kulcsfontosságú szerepet játszik abban, hogy az élet számára mindenhol elegendő napenergia álljon rendelkezésre. Mi történne azonban, ha ez a relatív helyzet fokozatosan elmozdulna, a Föld forgástengelye pedig egyre jobban megdölne?

A tengelyferdeség változásai

míg a Nap körül keringünk, és mindenkorban megkapjuk a magunk részét életet adó energiából, amíg az évszakok normális ütemben követik egymást, hogy a növények fejlődni tudjanak, élelmet, oxigént és esztétikai élvezetet nyújtsanak számunkra, nagyjából meg is feledkezhetünk a Föld különleges mozgásáról az űrben.

Ha azonban jobban belegondolunk, feltűnhet néhány fontos dolog. A Földön kialakult élet sokszínűsége sajátos körülmények hosszú láncolatának az eredménye: ilyen például az egész evolúciós folyamatot elindító néhány molekula létrejötte abban a bizonyos űslevesben a törte-nelem előtti idők során. Az ehhez hasonló eseményeknek kulcsfontosságú és minden meghatározó feltétele a Földnek a Naphoz viszonyított helyzete.

A Föld sajátos Nap körüli pályája egyike a bolygó éghajlatát meghatározó kulcstényezőknek. Ahhoz, hogy 4 milliárd évvel ezelőtt abban a bizonyos űslevesben megjelenjenek az első organizmusok, a Föld Nap-tól való távolságának és forgástengelye dőlésszögének pont megfelelőnek kellett lennie. Az ezt követően sorra megjelenő élőlények kifejlődéséhez és gyarapodásához a Földön fennálló körülményeknek továbbra is éppen megfelelőnek kellett lenniük. Az élet további fennmaradásához pedig úgyszintén.

A Föld Naphoz viszonyított helyzete azonban nem fog örökké így maradni. Sőt folyamatosan változik.

Hogyan melegíti fel a Nap a Föld felszínét?

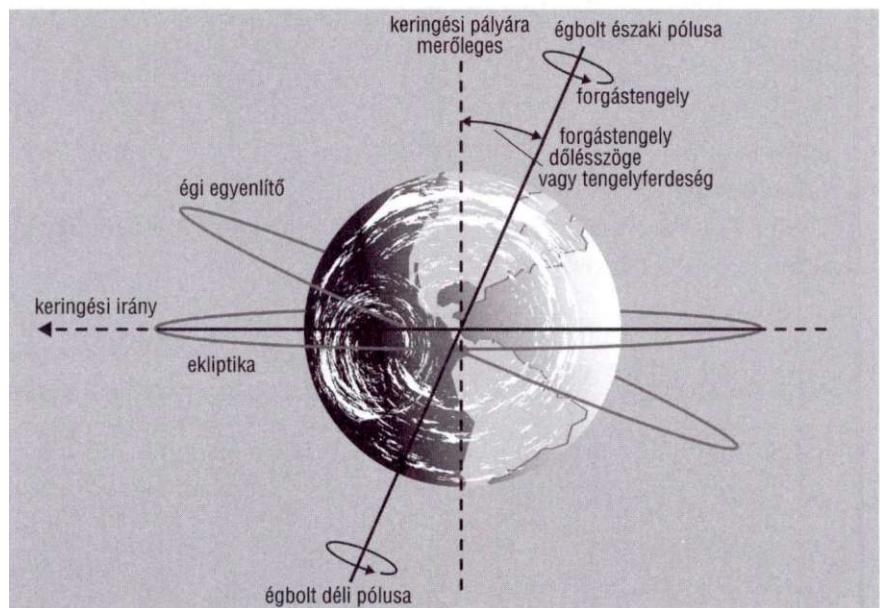
Bolygónk majdnem körpályán kering a Nap körül, és azt a mértéket, amennyivel ez a pálya a tökéletes körtől eltér, excentricitásnak nevezzük. Ez az érték az évezredek során állandóan változik, mivel a Földre más bolygók, különösen a Jupiter és a Szaturnusz gravitációs mezeje is hatást gyakorol. Az alacsony excentricitás majdnem tökéletesen kör

alakú pályára utal, a magas excentricitás pedig azt jelenti, hogy a keringési pálya enyhén elliptikus, ennek következtében a Föld Napktól mért távolsága, és ennek függvényében a felszínére jutó napenergia mennyisége egy éven belül folyamatosan változik.

A Föld forgástengelyének dőlésszöge a legmeghatározóbb tényező abban, hogy a napenergia hogyan tárolódik és oszlik szét a bolygó felülről. A tengelyferdeségnak is nevezett dőlésszöget a bolygó forgástengelyének és a Nap körül keringés pályasíkjára merőleges egyenesnek a hajlásszöge határozza meg.

A XX. század elején Milutin Milankovics szerb csillagász és matematikus összefüggést vélt felfedezni a Föld éghajlata és a Naphoz viszonya között.

A Föld forgástengelye a Nap körül pályájához képest kissé ferde, ami azt jelenti, hogy a bolygó különböző területeit eltérő mennyiségű napfény éri egy év során. Ez okozza az évszakok váltakozását, és nagy részben hozzájárul az élet fennmaradásához a bolyónkon.



nyitott lassan változó helyzete és dőlésszöge között. Kiszámította, hogy a Föld pályáját jellemző tulajdonságok (beleértve az excentricitást, a precessziót és a tengelyferdeséget) együttesen befolyásolták a Föld fel-színét érő napfény mennyiségét, és így az évmilliók során a bolygónkon kialakult jégkorszakok ciklusait.

Milankovics számításai szerint kb. 41 ezer éves ciklusokban a Föld forgástengelyének dőlésszöge 22,1 és 24,5 fok között ingadozik, ami teljesen természetes folyamat. A Föld pályájára jellemző excentricitás pedig 100 ezer évente 0 és 5% (kör és ellipszis forma) között pulzál.

A Föld tengelyferdeségének növekedésével a nyarak egyre melegebbé, a telek pedig egyre hidegebbé válnak. Ennek az az oka, hogy miközben a bolygó egyre jobban a Nap felé dől, egyre hosszabb ideig éri fényt, ráadásul a sugarak is egyre merőlegesebb szögben érkeznek, így még jobban felmelegítik a felszínt. Ezzel ellentétben télen a nagyobb dőlésszög következtében kevesebb napenergia éri a Földet.

Jelenleg bolygónk forgástengelyének dőlésszögére a két szélsőérték közötti, nagyjából 23,4 fok jellemző, ami egyre csökken. Összehasonlításképpen, a Vénusz tengelyének dőlésszöge majdnem 180 fok, mivel a többi bolygóval ellentétes irányba forog, északi pólusa pedig abba az irányba mutat, amit mi lentnek neveznénk. Az Uránusz a Földhöz képest az oldalán forog, mivel a tengelyének dőlésszöge 97 fok körül van.

Miért változik a forgástengely dőlésszöge?

A tudósok előrejelzései alapján, ha minden az előzetes számítások szerint történik, akkor a Föld tengelyferdesége tovább csökken, egészen addig, amíg kb. 10 ezer év múlva el nem éri a nagyjából 22 fokos minimum értéket. Ez idő alatt a nyarak egyre hűvösebbé, a telek egyre melegebbé válnak, a következmények pedig drámaiak lesznek.

A tengelyferdeség legkisebb értéke esetén például a Föld pólusokhoz közelebbi szélességi körein, különösen a sarkkörök környékén rendkívül lecsökken a napsugárzás, és a gleccserek kialakulásának kedvező feltételek alakulnak ki.

Komoly bizonyítékok vannak arra vonatkozóan, hogy a Föld forgástengelyének dőlésszögében és a Nap körüli pályájában beálló változások a Föld története során már korábban is pusztító hatással lehettek a különböző komplex életformákra.

2006-ban Jan van Dam, az Utrechti Egyetem munkatársa több mint 100-féle rágcsáló kövületének fogazatát vizsgálta meg Spanyolországban, hogy kiszámítsa: a patkányok és egerek különböző fajai milyen gyakorisággal terjedtek el és tüntek el a 24,5 millió évvel ezelőtti és a 2,5 millió évvel ezelőtti időszakok között. Arra az eredményre jutott, hogy a fajok kihalása két élesen elkülönülő ciklusban következett be, 1 millió és 2,5 millió évente.

Ezek a ciklusok megegyeznek azokkal az időszakokkal, amikor a Milankovics által kiszámított ciklusok közül kettő vagy több egybeesett, és a Föld a normálisnál nagyobb mértékben húlt le. „A fajok legjelentősebb kihalási eseményei a 2,37 millió éves excentricitási ciklus legalacsonyabb értékeivel és az 1,2 millió éves tengelyferdeségi ciklusok csomópontjaival estek egybe” - írta Van Dam a *Nature*-ben. Ez a fajok kihalására vonatkozó csillagászati hipotézis igen fontos „hiányzó láncszemet pótolhat az emlősfajok és nemzetiségek evolúciójának megfejtésében”, és ugyancsak „hihető magyarázatot adott arra, hogy az emlősök főbb fajaira miért jellemző a 2,5 millió éves fennmaradási ciklus, és segíthet megmagyarázni egyéb biológiai csoportokra jellemző hasonló időtartamokat is” - folytatta Van Dam.

A Föld forgástengelyének dőlésszögében beálló szélsőséges változások veszélyes következményekkel járhatnak. Az *International Journal of Astrobiology*ban 2003-ban megjelent tanulmányukban Darren M. Williams és Dávid Pollard, a Pennsylvaniai Állami Egyetem munka-

társai továbbfejlesztették Milankovics elméletét, és azt modelleztek, hogy mi történne a földi élettel, ha a bolygó forgástengelyének dőlés-szöge meghaladná természetes korlátait. Arra a következtetésre jutottak, hogy az élet nem pusztulna el teljes mértékben, de a miénk-hez hasonló fejlett civilizációk komoly veszélybe kerülnének. Bármely Földhöz hasonló bolygó, amelynek tengelyferdesége meghaladja az 54 fokot, hatalmas változásokat tapasztalna az éghajlatban, és a szerzők szerint „a sark-körökhöz közelebb fekvő földrészeken a nyári napforduló idején akár 80-100 °C-ot is elérne a felszíni hőmérséklet".

A szimulációik többségében számításba vett szélsőségesen magas hőmérsékleti értékek igen komoly következményekkel járnának „a jelenleg a Földet benépesítő élőlények közül szinte mindegyikre nézve, a legegyszerűbbek kivételével". „A fotoszintetizáló organizmusoknak komoly gondot okoznának a hosszú, sötét időszakok, amelyek az egyes félgömböket akár hónapokig is beborítanák. Bolygónk egy része ekkor csak az ún. extremofil organizmusok számára maradna élhető hely. Ezek az élőlények népesítik be az óceánok és a föld legmélyebb rétegeit, és kibírják akár a 400 °C-os hőmérsékletet is, feltéve, hogy - az utóbbinál - valamilyen vízforrás van elérhető közelében. Az ilyen organizmusok könnyedén elviselnék a rendkívül szélsőséges hőmérsékleti ingadozásokat, amelyeket ezekben a modellekben szimuláltunk."

A Föld forgástengelyének rendkívüli mértékű megdölése esetén az élet bizonyos formái talán képesek lennének fennmaradni, a szárazföldeken azonban, ahol a nyarak elviselhetetlenül forróvá válnának, a vízforrások pedig nagy valószínűséggel kiszáradnának, minden kipusztulna. Az emberi élőhelyek teljes mértékben elnéptelenednének.

A FÖLD TENGELYFERDESÉGÉNEK NÖVEKEDÉSE SORÁN...

54 fokos tengelyferdeség esetén a felszíni hőmérséklet elérheti a 80-100 °C-ot

Megtörténhet?

A természetes ingadozásokon kívül vajon előidézhető más módon is a Föld tengelyferdeségének megváltozása? Félix Landerer, a NASA Sugárhajtási Laboratóriumának (Jet Propulsion Laboratory) munkatársa felvetette, hogy a globális felmelegedés is befolyásolhatja bolygóink tengelyferdeségét, mivel az emelkedő hőmérsékletű óceánok és az olvadó jégtáblák hatására megváltozik a felszín különböző pontjaira nehezedő fizikai anyag mennyisége. Becslései szerint például a Grönland területéről az óceánokba ömlő édesvíz évente valamivel több, mint 2,5 cm-rel járul hozzá a Föld forgástengelyének dőléséhez.

Számítógépes modellje segítségével Landerer megjósolta, hogy amennyiben 2100-ig a légkör szén-dioxid-tartalma a legóvatosabb becslések szerinti kétszeresére nőne, a Föld sekélyebb óceáni talapzataira nagyobb mennyiségű víz áramlana. Ez az átrendeződés a bolygó északi pólusát évente 1,27 cm-rel mozdítaná Alaszka irányába.

A földrengések is képesek elmozdítani a Föld forgástengelyét. Bethan Harris, a Readingi Egyetem meteorológusa szerint a 2011 márciusában Japán északkeleti partvidékétől nem messze bekövetkezett 9-es erősségű földrengés nagyjából 15 cm-rel mozdította el a forgástengelyt. Ez az erős mozgás Japán szigetét is arrébb tolta néhány méterrel, és ennek az átrendeződésnek a következtében a Föld forgási sebessége is felgyorsult (igaz, hogy elenyésző mértékben).

Egy jóval vészjólöbb forgatókönyv szerint valami kizökkentené a pályájáról a Holdat, amelynek erős gravitációs hatása tartja fenn bolygóink függőleges helyzetét, azaz a rá jellemző alacsony dőlésszöget. „A Föld tengelyferdeségét a Hold jelenléte stabilizálja a 60 foknál kisebb dőlésszög esetén - írta Williams és Pollard 2003-ban megjelent tanulmányukban, amelyben a Földhöz hasonló bolygók forgástengelyének szélsőséges dőlésszögeit modelleztek. - A Hold nélkül a Föld

tengelyferdesége teljesen rendszertelenül 0 és 90 fok között ingadozna 10 millió évnél rövidebb periódusok alatt, a szoláris eredetű árapály-változásuktól függően. Ez az eredmény azt sugallja, hogy a Hold bizonyos értelemben nélkülözhetetlen a földi élet szempontjából, mivel stabilizálja alacsony dőlésszög esetén a forgástengelyt, és így biztosítja a szélsőségektől mentes éghajlat fennmaradását bolygónk túlnyomó részén."

Galaxisunk eme csendes zugában minden olyan távolinak, lassúnak, és igen: nyugodtnak tűnik. Mindez azonban csak illúzió. Pusztán az, hogy a mi emberöltönket felölelő szempillantásnyi idő alatt nem következett be semmilyen kozmikus katasztrófa, nem feltétlenül jelenti azt, hogy a környező galaxis örökké biztonságos marad.

Halálos űrtörmelék

indez elég hihetetlenül hangzik. Igen, időnként felbukkan és elhúz mellettünk egy-egy üstökös, és létezésének 4 milliárd éve alatt sok közülük el is találta a Földet, de egyetlen óriási egítést, hatalmas csillag vagy különös fekete lyuk sem járt még a környékünkön. Miért aggódnánk akkor ilyesmi miatt? Ahhoz, hogy ezt a kérdést megválaszoljuk, kozmikus léptékben kell gondolkodnunk.

A Föld kering a Nap körül, ami ugyanezt teszi a Tejtrendszer középpontja körül. 250 millió éves keringési ciklusa alatt, amelyet 200 km/s sebességgel végez, Naprendszerünk pályáját időnként különböző por- és törmelékkelők keresztezik. Ilyenkor hirtelen megemelkedik azoknak az aszteroidáknak a száma, amelyek eltalálhatják a bolygókat. A világűr legsűrűbb részein keresztülhaladva évezredeken át kőtörmelékek milliárdjai csapódnak be a Föld és a többi bolygó felszínébe.

Amiöt a bolygóink felszínén 3 milliárd évvel ezelőtt kialakult az élet, ez az időszakonként ránk zúduló por- és kőtörmelék több alkalommal is eltörölte a Föld színéről az éppen akkor élő fajok nagy részét, szembetűnő rendszerességgel.

Rendszeres kihalások, rendszeres becsapódások

A kövületek tanúsága szerint nagyjából 30 milliós évente a Földön élő fajok nagy része kipusztul. Nagyjából ezzel megegyező időszakonként megemelkedik a világűrből érkező becsapódások száma is. E periódusok alatt jóval nagyobb mennyiségű aszteroida, üstökös és más törmelék kerül a Föld vonzásába, amelyek addig általában megnyugtató távolságban maradtak. Ilyenkor az apró méretű kő- és jégdarabokon kívül becsapódhat valami sokkal hatalmasabb is, ami már képes akár globális szintű problémákat okozni - egy 1,6 km átmérőjű kő becsapódása a felszínbe hatalmas szökőárakat képes előidézni, a légkörbe

kerülő porfelhő pedig a Napot is eltakarhatja. A pusztításnak ez a ciklikussága 250 millió évre visszamenőleg megfigyelhető, és egy hasonló esemény hatására következett be a dinoszauruszok 65 millió évvel ezelőtti kihalása a kréta korban.

Mi okozza ezeket a periodikus becsapódásokat? Amikor a tudósok elkezdték az erre vonatkozó bizonyítékokat vizsgálni - beleértve

A világűr legsűrűbb részein keresztülhaladva évezredeken át kőtörmelékek milliárdjai csapódnak be a Föld és a többi bolygó felszínébe.

Szakos kihalások hátterében az áll, hogy nagyjából 30-35 millió éves ciklusokban a Naprendszer fel-le mozog a Tejúrendszer síkjában. Válahányszor a Föld áthalad a galaktikus korong legsűrűbb részein, jóval több kozmikus tárgy útját keresztezi.

„Azt a megközelítőleg 30 (millió éves) periodicitást, amely a jelek szerint a tömeges kihalásokra és a becsapódási kráterek kialakulására jellemző, úgy értelmezték ... mint annak a bizonyítékát, hogy a Földet mintegy rendszeres időközönként üstökösök bombázzák, amelyek a Naprendszer hatalmas csillagközi gáz- és porfelhőinek gravitációs hatása miatt kerültek bolygónk pályájának útjába - írta Richárd Stothers, a NASA Goddard Śrrepülési Központjának (Goddard Space Flight Center) munkatársa egy 1984-es Nöívre-cikkben. - Ez a modell a Naprendszernek a galaxis középsíkjához mért vertikális kilengéseit veszi alapul, amely sík köré a hatalmas csillagközi felhők többsége is koncentrálódik.”

Ennek a vertikális kilengésnek köszönhető, hogy a Naprendszer időnként veszélybe kerül, és ez zavarja meg időről időre a Naprendszerünket egyébként békesen körülölélő, Oort-felhőnek nevezett hatal-

azokat a számításokat is, amelyek arra vonatkoznak, hogy az aszteroidák nagy valószínűséggel honnan érkeznek, és miért keresztezik ilyen gyakran a Föld pályáját -, meglepő eredményre jutottak. Úgy tűnik, hogy az idő-

mas por- és kőtörmelékkelhőt is, aminek következtében tovább nő a kb. 30 millió évente a Föld felszínébe becsapódó veszélyes kőzáporok előfordulásának gyakorisága.

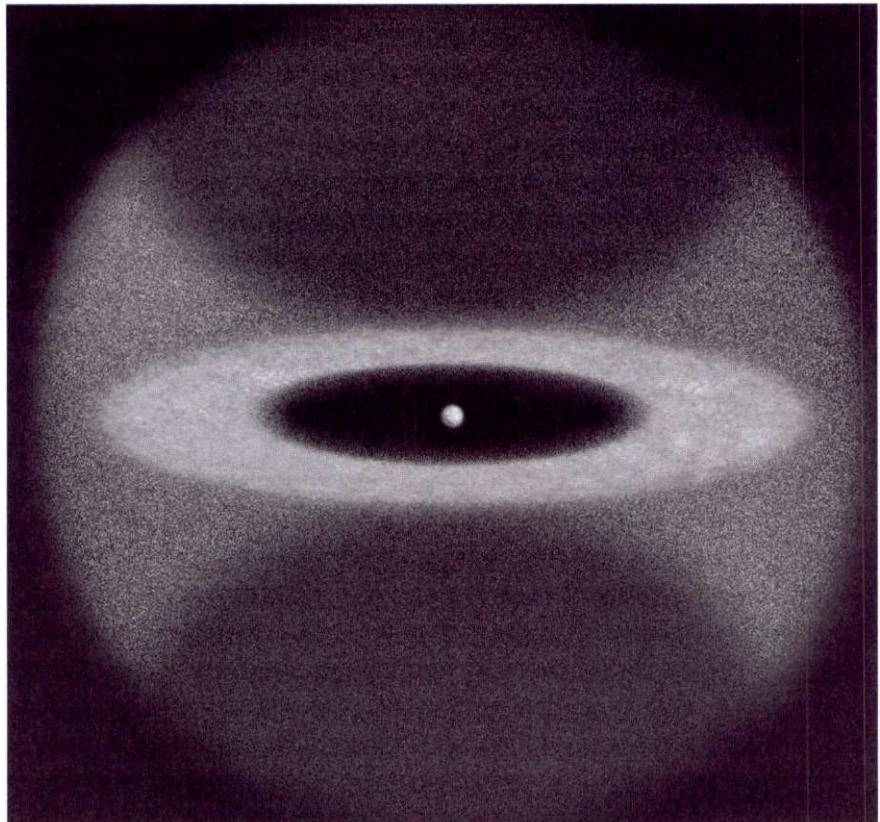
Az Oort-felhő

A Földet megközelítő aszteroidák és üstökösök többsége vagy a Nap körül, a Mars és a Jupiter között keringő aszteroidaövből érkezik, vagy a világűr Plútón túl található, Kuiper-övnek nevezett régiójából. Ez utóbbit tekintjük a Naprendszer peremének, mivel ez a legtávolabbi pont, ahol még léteznek olyan égitestek, amelyekre hat a Nap gravitációja. A történet azonban ezzel még nem ér véget.

Általában úgy tudjuk, hogy a Naprendszer a Neptunusz és a Plútó pályája határolja, pedig a Nap gravitációs hatása több mint három-egy százalékban távolabb, a legközelebbi csillagtól mért távolság felénél is ki-mutatható. „A világűr ott sem üres - a Naprendszer keletkezéséből visszamaradt anyagok, az üstökösök hatalmas parkolóhelye található itt - mondja Paul Weissman, a NASA kaliforniai Sugárhajtási Laboratóriumának az üstökösök mozgását tanulmányozó csillagásza. - Ezt a helyet nevezik Oort-felhőnek.”

Weissman csak úgy emlegeti az óriási kiterjedésű, gömb alakú Oort-felhőt, mint a Naprendszer Szibériját: „hatalmas, hideg határterület, amelyet a Nap belső birodalmának száműzöttjei népesítenek be, és ahol csak nagy ritkán avatkozik be a központi hatalom. A délidőben legjellemzőbb hőmérséklet a fagyos abszolút 0 °C feletti 4 °C, és az egymással szomszédos üstökösök közötti távolság átlagosan 10 millió km. A Napnak, amely itt is a legfényesebb égitest, kb. akkora a fénye, mint amilyennek mi láttuk esténként a Vénuszt a Földről.”

Ezt a felhőt a holland csillagász, Jan Oort után neveztek el, létezésére pedig közvetlen bizonyítás hiányában csak a fizikai hatásai alapján,



Napunk gravitációs hatása a Neptunusz és a Plútó távolságánál 3000-szer nagyobb távságban is érzékelhető, a csillag még itt is gyenge vonzást fejt ki a kő- és jégtörmelékre. Ezt a hatalmas kiterjedésű, de szinte üres helyet nevezik Oort-felhőnek.

azaz a belső Naprendszerben megjelenő hosszú periódusú üstökösökől (más szóval, nagyon hosszú ideig tart, míg megkerülik a Napot) lehet következtetni.

1950-ben Oort kimutatta, hogy az ebben a hatalmas felhőben található üstökösökre annyira gyengén hat a Nap gravitációja, hogy egy

véletlenül arra járó csillag könnyedén megváltoztathatja a pályájukat. 1 millió év alatt kb. tucatnyi csillag halad el a Naptól 1 parszeknyi távolságra (a csillagászatban használt távolság mértékegysége, kb. 3,26 fény-évre felel meg), ami elegendő ahhoz, hogy az üstökösök egy részét mozgásba lendítse. Oort úgy írta le ezt a felhőt, mint „egy kertet, amelyet lágyan gereblyéz a csillagok perturbációja, azaz zavaró hatása”.

Időnként előfordul, hogy egy csillag egyenesen keresztülhalad az Oort-felhőn, ami nagy zűrzavart okoz az itt található üstökösök mozgásában. Statisztikailag az az esemény, hogy egy csillag 10 ezer csillagászati egységnyire közelíti meg a Napot, 36 millió évente egyszer fordulhat elő, 3000 csillagászati egységnyi távolságon belül pedig 400 millió évente egyszer (csillagászati egység alatt a Föld és a Nap átlagos távolságát értjük). Egy ilyen közeli elhaladásnak nincs egyenes következménye a Naprendszer bolygóira, de az üstökösökön keresztül megjelenő közvetett hatások pusztítóak lehetnek.

Egy 1981-es tanulmány azt mutatta ki, hogy ha egy csillag a Naphoz meglehetősen közel haladna el, akkor nyomában üstökösök serege indulhatna el a bolygók felé. Ettől oly mértékben nőne meg a becsapódások előfordulásának aránya, ami már elegendő lenne egy tömeges kihalás előidézéséhez a Földön. Pár évvel később Weissman kiszámította, hogy egy ilyen esetben az üstökösök megjelenésének gyakorisága a belső Naprendszerben a normális mérték háromszázszorosát is elérheti, és akár 3 millió évig is eltarthat.

Kenneth Farley, a Kaliforniai Műszaki Egyetem geokémikusa Weissman elméletét bizonyítékokkal is alátámasztotta. 1998-ban azt vizsgálta, hogy a történelem előtti időkben mennyi bolygóközi por gyűlt össze a Föld óceáni üledékeiben, amiből arra lehetett következtetni, hogy hány üstökös haladhatott el a bolygók közelében. Arra az eredményre jutott, hogy az üstökösök becsapódása az eocén kor végén, nagyjából 36 millió évvvel ezelőtt tetőzött, amikorra az egyik mérsékelt biológiai kihalási esemény is tehető. Az ezt követő 2-3 millió év alatt csökkent a

becsapódó üstökösök száma, ahogyan azt az elméleti modellek is feltételezték.

Egy másik elmélet szerint az Oort-felhőre az is befolyással van, amikor a Naprendszer keresztülhalad a galaxis hatalmas molekulafelhőket és masszív kék csillagokat tartalmazó spirálkarjain. Ilyenkor ezek is kifejtik gravitációs hatásukat a Naprendszer peremén található üstökösfelhőre. A csillagok és bolygórendszerök keletkezési helye legalább százezreszer és legfeljebb egymilliószer nagyobb tömegű, mint a mi Napunké, így az ilyen hatalmas tömegű anyaghöz közel kerülve az Oort-felhő üstökösei könnyedén kiszakadhatnak, hogy azután tetszőleges irányba induljanak el a világűrben.

Mekkora veszély leselkedik ránk?

A *Scientific American*ben 1998-ban megjelent cikkében Weissman azon töprengett, hogy vajon a Földet jelenleg is veszélyezteti-e az Oort-felhőből csillag vagy molekulafelhő hatására kiszakított üstököszápor. „Szerencsére nem ez a helyzet” - állapította meg végül. Az elhelyezkedésükre és sebességükre vonatkozó, ūrszondák által mért adatok alapján szimulálta a Naprendszer közelében található csillagok pályáját és mozgását. Bebizonyította, hogy az elmúlt pár millió év során egyetlen csillag haladt el a Nap közelében, s hogy a legközelebbi hasonló eset csak 1,4 millió év múlva várható, amikor a Gliese 710 kis vörös törpe halad majd keresztül a külső Oort-felhőn, nagyjából 70 ezer csillagá-szati egységre a Naptól.

„Ebből a távolságból a Gliese 710 hatására kb. 50%-kal emelkedik meg a belső Naprendszeren áthaladó üstökösök száma - írta Weissman. - Ezt inkább csak üstököspermetnek nevezném, nem zápornak.”

Mi a helyzet a hatalmas tömegű molekuláris felhőkkel, amelyekkel a galaxison belül megtett pályája során kerülhet kapcsolatba a Naprend-

szerünk? Weissman elemzése szerint az ilyen találkozások igen hevesek lehetnek, viszont nem túl gyakran, 300-500 millió évente egyszer fordulnak elő. A Naprendszer keletkezése óta a molekuláris felhők összesen annyi hatással voltak rá, mint a közelében elhaladó csillagok együttesen.

Érdemes azonban elgondolkodnunk azon, mennyi ideje lehet még hátra a Földnek és vele együtt, remélhetőleg, az emberiségnek. A kozmikus időszámításban még a legvalószínűtlenebb dolgok is megtörténetek

Ha egy csillag a Naphoz meglehetősen közel haladna el, akkor nyomában üstökösök serege indulhatna el a bolygók felé. Ettől oly mértékben nőne meg a becsapódások előfordulásának aránya, ami már elegendő lenne egy tömeges kihalás előidézéséhez a Földön.

A fekete lyukaknak már az említésétől is eluralkodik rajtunk a félelem. Tudjuk, hogy elképzelhetetlen erővel rendelkeznek; tudjuk, hogy a Földnél és a Napnál milliárdszor nagyobb csillagokat és porfelhőket képesek megsemmisíteni, és ha csak egy is a Naprendszerünk közelébe kerülne, gyorsan végezne velünk, mielőtt továbbállna.

Elszabadult fekete lyuk

Naprendszer pusztulása fokozatosan menne végbe. Évtizedekig senki sem értené, hogy egyszer csak miért szaporodtak el a Földbe becsapódó aszteroidák. A csillagászok végül különös imbolygásra figyelnek fel a külső bolygók pályájában, mintha egy hatalmas láthatatlan kéz rángatná őket. A Naprendszer körül keringő por- és gázelhők fénylelektromágneses sugárzást bocsátanának ki, miközben a fekete lyuk egyre jobban beszippantaná őket.

Eközben a fekete lyuk egyre jobban megközelítené a Naprendszerünket, roppant gravitációs ereje egyes bolygókat darabokra szakítana, másokat pedig egészben nyelne el. A Földet elérve, pusztító erejű középpontja rejtelyes belséjébe rántana bennünket is, ahová hatalmas étvágyával minden elnyel, ami csak az útjába kerül a világegyetemben.

Mi az a fekete lyuk?

Egy fekete lyuk minden elnyel, és soha többé semmi nem kerülhet ki belőle. Csillagok és bolygók tűnhetnek el benne, és bármilyen ami túl közel kerül hozzá, atomjaira esik szét. Ezek a kozmikus égitestek egyirányú utcák abba a titokzatos világba, ahol az általunk ismert fizikai törvények nem érvényesek, a tér pedig a legkülönösebb módon viselkedhet.

A fekete lyukak tulajdonképpen maradványcsillagok. Miután évnemilliárdokig fénylenek a középpontjukban elég hidrogén hatására, a csillagokból egyszer csak kifogy a fűtőanyag és elkezdenek zsugorodni. Ennek következtében a pusztuló csillagok középpontjában emelkedni kezd a hőmérséklet és a nyomás, az így felszabaduló energia pedig egyszer csak elegendő lesz ahhoz, hogy beinduljon a csillag magjában található hélium fúziója, aminek során szénné és oxigénné alakul át. Később, amikor elfogy a hélium is, a csillag újra elkezd összehúzódni, addig, amíg a magjában elég magas lesz a nyomás ahhoz, hogy beinduljon a szén fúziója is.

Mielőtt végleg meghalnának, a csillagok több lépésben égetik el az egyre nehezebb alkotóelemeiket: egy szupermasszív csillag például neont, oxigént és szilíciumot. Amikor már vasat állít elő a magjában, az azt jelenti, hogy közel a vég, ugyanis a vas fúziója több energiát igényel, mint amennyit az egész folyamat során termelt.

Ekkor már elkerülhetetlenné válik a végső összeomlás - több millió kilométeres átmérője hirtelen egyetlen ponttá zsugorodik össze (ezt nevezik szingularitásnak), amely kisebb, mint ennek a mondatnak a végén a pont.

Albert Einstein általános relativitáselmélete szerint ha az anyagot elég kicsi méretűre nyomjuk össze, az így létrejövő gravitáció annyira felerősödik, hogy a környezetében semmi sem képes ellenállni a vonzásának. Azt a határterületet, amelyen belül egy haldokló csillag gravitációja minden más erőnél hatalmasabb, eseményhorizontnak nevezzük. Ebből a régióból semmi nem képes kijutni, még a fény sem.

„Abban a pillanatban, amikor bármilyen tárgy átlépi az eseményhorizontot, már semmi remény arra, hogy kikerüljön onnan. Az álta-

A TEJÚTRENDSZERBEN

(potenciális fekete lyuk) található

la kibocsátott fény is csapdába esik, így a külső szemléző számára soha többé nem lesz látható

„**állítja Penka Joshi a mumbai**

Tata Alapkutatási Intézet (Tata

Institute of Fundamental Research) fizikusa. - Végül belezuhan a szingularitásba.”

Csak a legnagyobb tömegű csillagok halálával alakulhatnak ki fekete lyukak. A Napból például természetes úton nem alakulhatna ki fekete lyuk, mivel nincs az intenzív gravitáció létrejöttéhez szükséges akkora tömege, amely képes legyőzni a szubatomi részecskék közti ta-

szító erőt (erős és gyenge nukleáris erőt, és elektromágneses kölcsönhatást, amely általában nagyságrendileg erősebb, mint a gravitáció). Jellemzően csak a Nap tömegénél legalább hatszor nagyobb csillagokból alakulhatnak ki fekete lyukak.

Mennyi van belőlük?

Mivel a fény sem képes kijutni a fekete lyukakból, lehetetlen közvetlenül észlelni vagy megfigyelni őket. Ennek megfelelően a tudósok csak a közvetlen környezetükre gyakorolt hatásuk alapján képesek a létezésükre következtetni.

Amikor valami elég közel kerül az eseményhorizonthoz, a fekete lyuk intenzív gravitációs tere hatni kezd az anyagra. Egy csillag például keringeni kezd körülötte, miközben a fekete lyuk fokozatosan beszippantja az egész tömegét. A csillag külső rétegeinek leszakításával a fekete lyuk elkezd ügy viselkedni, mint egy erőmű, amely gravitációs energiát bocsát ki magából, és erős röntgen- és gázsugárnyalábokat hoz létre. Ezek elhagyják a fekete lyuk közvetlen környezetét, és észlelhetővé válnak az űrszondák és földi műszerek számára.

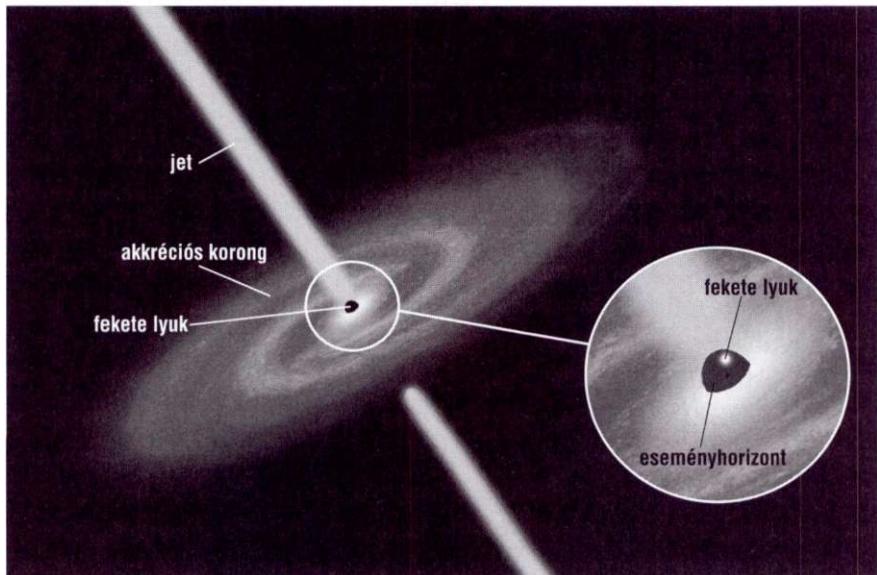
Az elmúlt évtizedek során több bizonyítékot is találtak arra, hogy a galaxisokat a legnagyobb fekete lyukak tartják össze. 2007-ben az asztrofizikusok végleg megerősítették azt, ami előtte már évekig sejthető volt, hogy a Tejtrendszer középpontjában egy szupermasszív fekete lyuk található.

A Tejtrendszerben valószínűsíthetően 10 milliónál is nagyobb a maradványcsillagok száma, amelyekből akár fekete lyukak is kialakulhatnak. Ezek valószínűleg nagyjából 24 km-es eseményhorizontal rendelkező pontsingularitássá zsugorodtak össze, és jelenleg is elnyelnek minden, ami a közelükbe kerül.

Mi történne a Föddel egy fekete lyuk közelében?

Az egész Naprendszerünkre nézve katasztrófális következményekkel járna, ha csak egyetlen égitest, például az egyik bolygó egy fekete lyuk eseményhorizontján belülre kerülne. A környezetében mindenre roppant gravitáció kezdene el hatni, és a hirtelen megnövekedett erők miatt az égitest két különböző végén eltérő erejű gravitáció lenne érzékelhető. Ha például valakinek a feje közelebb lenne a lyukhoz, mint a lába, a haj részecskéire jóval erősebb gravitációs erő hatna, mint a lábujjak atomjaira. Ez az eltérés hamar szétszakítaná a testünket, az

Minden tárgya, amely egy fekete lyuk közelében tartózkodik, óriási gravitációs erő hat. Az eseményhorizonton belül tartózkodó tárgyak a végső pusztulásba tartanak – erről a területről nincs menekvés, még a fény számára sem. Az ún. akkréciós korong, azaz a fekete lyuk középpontja körül keringő diffúz anyag töltéssel rendelkező részecskék erőteljes sugarát (poláris jetet) bocsátja ki.



atomok láncolata pedig spagettiszerűen megnyúlva lassan haladna a szingularitás irányába.

Senki nem tudja, hogy valójában mi történik egy ilyen szingularitásban, hiszen semmi, még az információ sem képes elhagyni a fekete lyukat.

Egy fekete lyuknak nem feltétlenül kell a Föld közvetlen közelében tartózkodnia ahhoz, hogy a hatásai alapjaiban megváltoztassák az emberi civilizáció sorsát. Gravitációs vonzása már néhány milliárd kilométer távolságból is pályája elhagyására kényszerítené a Földet, és veszélyes elliptikus pályára állítaná a Nap körül. Ennek következetében telente rendszeresen -50 °C alá esne, nyáron pedig több 100 °C-ig emelkedne a hőmérséklet. Nehéz elképzelni, hogy az élet bármilyen formában képes lenne túlélni az ilyen szélsőségeket.

Ha a fekete lyuk gravitációjának sikerülne a Földet az egész Naprendszerből is kiszakítania, bolygónk a meleget adó és a növények növekedését serkentő energiaforrásától megfosztva végül elindulna a világűr mélye felé. A földi életformák néhány hónap leforgása alatt egyszerűen halálra fagynának.

Fényegyet bennünket közeledő fekete lyuk?

A fekete lyukak, akárcsak a többi kozmikus, gravitáció által irányított tárgy, a galaxis és más nagy tömegű égitest középpontja körül kerülnének. A környezetükben található tárgyakra ható hatalmas gravitációs erejük miatt elkerülhetetlenül észlelnénk őket, ha megjelennének Naprendszerünk peremén. Ugyanakkor, míg egy csillag feltűnése nagyon is nyilvánvaló lenne, mivel a felőle érkező fény tulajdonságai alapján a csillagászok ki tudnák számítani, mikor érné el a Földet, addig a fekete lyukak észlelése ennél jóval bonyolultabb.

Korábban már említettük, hogy a fekete lyukak nem bocsátanak ki semmilyen fényt. Talán észlelni tudnánk a röntgensugarak villanását vagy a nagyon forró gázkilövelléseket, amikor a felénk tartó fekete lyuk éppen elnyelne valamit. Ezen és a hatalmas gravitációs erején kívül azonban nem sok figyelmeztető jel utalna arra, hogy elérte a Naprendszerünk külső peremét. Talán pár évtizeddel azt megelőzően, hogy a közvetlen közelébe kerülnénk, feltúnne, hogy a Naprendszer legtávolabbi szegleteiben található üstökösök és más égitestek furcsán kezdenek viselkedni. Esetleg a fekete lyuk hatására egy akkora aszteroida szabadulna el az addigi pályájáról, amelynek a becsapódása a Föld-be katasztrofális károkat okozna

A földi életformák néhány hónap

(lásd 213. o.).

Ahogy a fekete lyuk egyre közelebbérne, a Naprendszeret bombázó aszteroidák egyre sűrűbben jelennének meg, és a külső bolygókat akár ki is lökhetnék a pályájukról. Ekkorra már mi is biztosan tudnánk, hogy valami kellemetlen dolog közeledik felénk.

Mégis mit tehetnénk a ránk szabaduló hatalmas kozmikus erők és energiák ellen, ha egy fekete lyuk elérne bennünket? Ha csak addigra nem sikerült elrejtőznünk előle egy távoli, biztonságos bolygón, a Föld és vele az emberiség szörnyű véget érne.

A sors eddig minden esetre nekünk kedvezett. Még ha a Tejútrendszerben összesen nagyjából 10 millió fekete lyuk kering is, hatalmas galaxisunk 100 ezer fényévnyi területen terül el és több 100 milliárd csillagot tartalmaz. Fogalmunk sincs, hány bolygót (és vele hány civilizációt) kebeleztek már be eddig a fekete lyukak, de nagy biztonsággal állíthatjuk, hogy ezek sokkal szerencsétlenebbül jártak, mint mi.

Vakító fény töltené be az eget annak jeléül, hogy a Föld légkörét az elképzelhető legintenzívebb sugárzás érte el. Az a bizonyos gamma-sugár évmilliárdok óta a fény sebességével hasított keresztül akadálytalanul a csillagközi térben. Bolygónk légkörének nekiütközve, hatalmas energiaja egyenesen az útjába eső légköri molekulákra zúdulna, és darabokra szedné azokat.

Kozmikus gamma-sugárzás

légkör külső rétege felforrósodna. Az ózonpajzs eltűnne és a Földön található szerves anyagok védtelenné válnának a Nap felől naponta érkező halálos UV sugárzással szemben. A kozmikus gamma-sugárzás és a helyi UV sugarak kombinációja az ezt követő hónapok során gyakorlatilag csírájában oltaná ki az élet minden formáját a bolygó felszínén.

Ez történik, amikor egy bolygó a világegyetem egyik legnagyobb robbanásának az útjába kerül: egy szupermasszív csillag haláltusája nem sokkal a teljes összeomlás előtt, mielőtt fekete lyukká változna. Amikor évmilliárdokkal ezelőtt végleg kihunyt, ez a csillag két koncentrált gammasugár-nyalábot lőtt ki a világűrbe, amelyek olyan roppant ener-

giával rendelkeznek, hogy minden útjukba kerülő égitestet könnyedén megsemmisítenek. Legnagyobb szerencsétlenségünkre előfordulhat, hogy ennyi idő elteltével éettel teli zöld-kék bolygónk éppen ennek a sugárnak az útjába téved.

Mi az a gamma-kitörés?

Talán túlzásnak tűnhet a világgyetemben a legnagyobbnak nevezni bármit is. Végül is a világgyetem olyan végtrükk hatalmas hely, amelynek még korántsem ismerjük minden szegletét - honnan tudhatnánk, hogy mi benne a legnagyobb? A tudósok általában egyetértenek ezzel az érveléssel és nem szívesen használnak effajta túlzó kifejezéseket. Létezik azonban egy jelenség, amivel kapcsolatban még az asztrofizikusok sem riadnak vissza a legnagyobb jelző használatától - ez a gamma-kitörés (gamma-ray burst, GRB). Ezek az ún. jetek vagy relativisztikus anyagsugarak az eddig ismert legnagyobb robbanás következtében, a Nap tömegénél legalább tizenötöszer nagyobb csillagok utolsó pillanataiban keletkeznek.

A csillagok úgy alakulnak ki, hogy egy hidrogénfelhő atomjainak kölcsönös gravitációs vonzása összetömöríti ezeket. Amikor kellően sűrűvé válik, a központi magot alkotó gáz fuzionálni kezd és energia szabadul fel, majd a felhő fényt bocsát ki. A gázfelhő belsejében folytatódó fúzió eredményeként a csillag tovább fog fényleni.

Végül ennek a fúziónak a több milliárd évig tartó különböző szakaszai után a fénylő csillag kifogy a fűtőanyagból. Ekkor összezuhan a megmaradó anyagok halmazává, amelyek már nem képesek további egyesülésre. Ha különösen nagy méretű csillagról van szó, belsejének összeomlása következtében külső rétegei felrobbannak, és létrejön egy szupernóva, amelynek intenzív fénye mellett a galaxis összes csillaga elhalványul.



Művész ábrázolás arról az eseményről, amikor egy gamma-kitörés (balra fent) sugárzása (fénylező burok) eléri a Földet (jobbra lent). A röntgen- és gamma-sugarak láthatatlanok maradnak.

Minthá a szupernóvák önmagukban nem lennének elég lenyűgözők, ez a robbanás a legnagyobb csillagok esetében olyan hatalmas erejű lenne, hogy azt már hipernóvának nevezzük. Ennek során olyan hatalmas mennyiségi energia szabadul fel alig néhány másodperc alatt, mint amennyit egy tipikus csillag (például a mi Napunk) bocsát ki a teljes, 10 milliárd éves élettartama során.

E robbanás részeként a hipernóva a pólusaiból két hatalmas energiájú gammasugár-fotonokból álló relativisztikus anyagsugarat (jetet) lövell ki két ellentétes irányba. Ez a gamma-kitörésnek nevezett, a létező legnagyobb energiájú elektromágneses sugárzás néhány milliszkundumtól pár percig tarthat. Ez alatt a rövid idő alatt millió-billiószer fényesebben világít, mint a Nap, így átmenetileg a megfigyelhető univerzum legfényesebb gammasugár-forrásává válik.

A NASA szerint a leghosszabb ideig tartó gamma-kitörések a megfigyelhető univerzum legtávolabbi szegletében keletkeznek, és a felrobbanó csillagok jellemzően több milliárd fenyevre vannak tolunk,

Ezek az un. jetek vagy relativisztikus anyagsugarak az eddig ismert legnagyobb robbanás következetében, a Nap tomegeivel legalább tizenötször nagyobb csillagok utolsó pillanataiban keletkeznek.

"^{n - j c >} Ez azt jelenti, hogy bármely belülük érkező gammasugár-fotonnak ^{típ} évmilliárdokba telne, míg a feny sébességével (^{típ} 300 ezer'km/s) elérne hozzáink. Tekintve, hogy a

Föld kb. 4 milliárd éves, könnyen

elképzelhető, hogy a tudósok által most az égbolton észlelt gamma-kitörések egy része akkor keletkezett, amikor bolygóink még kialakulásának legkorábbi szakaszaiban volt, jóval azelőtt, hogy az élet kialakult volna rajta.

Az úrteleszkópok segítségével a tudósok átlagosan naponta egy ilyen gamma-kitörést észlelnek az univerzum különböző irányainak. Szerencsére ezek az általunk ismert események mind a galaxisunkon kívül jöttek létre. Ha egy ilyen gamma-kitörés a mi galaxisunkban következne be, és az egyik relativisztikus anyagsugár éppen a mi Földünkre mutatna, igen nagy bajban lennékn.

Mi történne a Föddel és a rajta kialakult élettel?

Ha egy gamma-kitörés útját keresztezné a Föld pályája, először bolygóink légkörét érné hatalmas lökés. A beérkező gamma-sugarak valószínűlegvakító fényjelenségek kíséretében érnék el a Földet és szakítanák le az elektronokat minden atommagról, ami csak az útjukba kerül. Mi azonban a bolygó felszínén ekkor már semmit sem érzékelnénk mindebből. A légkör felső rétegeiben a gamma-sugarak széthasítanák a nitrogén- és oxigénmolekulákat, és arra kényszerítenék őket, hogy

egymással lépjenek reakcióba, s ez által mérgező vörösesbarna nitrogén-dioxid keletkezne. Ez egyike az üvegházhatású gázoknak, amely sötét felhőként takarná el a Napot és elpusztítaná az ózonréteget. Attól a pillanattól, hogy a gamma-kitörés elérné a Földet, az ózonréteg komoly veszélybe kerülne, bolygókat pedig igen rövid időn belül rendkívül gyors lefolyású tömeges kihalás fenyegetné.

Charles Jackman, a NASA Goddard Śrrepülési Központjának munkatársa kiszámította, hogy még egy Földet megközelítő, rövid gamma-kitörés is hetek alatt elpusztítaná a bolygó ózonrétegének a felét. Öt évvel később az ózon legalább 10%-a még mindig hiányozna.

„Az energia szinte teljes mértékben a légkör kémiai változásait idézne elő - írta Larissa M. Ejzak fizikus az *Astrophysical Journal* 2006-os számában megjelent kutatásában, amely egy közelű gamma-kitörés Földre gyakorolt hatásait modellezte. - A sugárzás elsődleges kémiai hatása az lenne, hogy az O₂ és N₂ molekulák atomjai közti erős kötéseket szétszakítaná, ezzel lehetővé téve, hogy olyan molekulák alakuljanak ki, amelyek normális esetben csak nagyon kis mennyiségben vannak jelen a légkörben. Idetartoznak a NO (nitrogén-oxid) és N O₂ (nitrogén-dioxid) molekulák, amelyek az ózon pusztulását is katalizálják.” Ejzak kiszámította, hogy közel egy évtizedbe kerülne, míg a légkör egy ilyen robbanást követően regenerálódni tudna.

A védelmet nyújtó ózonpajzs hiányában a Nap káros UV sugarai elérnék a bolygó felszínét és behatolnának az élőlények DNS-ébe. Az embereken csak fokozatosan jelentkeznének ennek a hatásai: először csak az tűnne fel, hogy a bőrünk sokkal gyorsabban leég a napon, valójában bőr alatti sejtjeinket csendben rongálnák az UV sugarak. A bőrákos megbetegedések előfordulása ugrásszerűen megemelkedne.

ÓZONRÉTEG ÁLLAPOTA

**gamma-kitörést követően
5 héten belül 50%-a el-
pusztulna**

A többi élőlény sejtjei is képtelenné válnának a szaporodásra, ha a széles körű DNS-károsodás következtében nem pusztulnának el azonNAL. Az UV sugarak ugyan csak az óceánok felszínét érnék el, de ez is elegendő lenne ahhoz, hogy az óceáni tápláléklánc alapját képező parányi fotoszintetizáló planktonok minden elpusztuljanak. Ezek eltűnéssel a légkörbe jutó oxigén mennyisége is rohamosan csökkenne, illetve a tengerek mélyén élő állatok számára is jóval kevesebb táplálék állna rendelkezésre.

Talán a Föld alkalmazkodóképességéről tesz tanúbizonyságot, hogy az ózonréteg nagyjából egy évtized alatt képes lenne regenerálódni. A rossz hír azonban az, hogy a fitoplanktonok hiányában ez alatt az egy évtized alatt nem sok élőlény maradna életben az óceánok mélyén sem.

Mennyi a valószínűsége egy ilyen eseménynek?

Egyes tudósok szerint az egyik legismertebb tömeges kihalási eseményt, amely során a tengeri gerinctelen állatok 60%-a elpusztult, szintén egy ilyen gamma-kitörés okozhatta. „Az élet kialakulása óta a Földön legalább öt alkalommal fordult elő olyan tömeges kihalás, amely során a teljes flóra és fauna nagy százaléka kipusztult - mondja Adrián Melott, a Kansasi Egyetem fizikusa, aki a gamma-kitörések Földre gyakorolt lehetséges hatásait vizsgálta. - Sok lehetséges ok felmerült már ezzel kapcsolatban, és a gamma-kitörések szintén előidézhették ezeket a tömeges kihalásokat. A nagyjából 440 millió évvel ezelőtti, késő ordovíciumban bekövetkezett tömeges kihaláshoz legalábbis részben hozzájárulhatott egy ilyen esemény.”

Hozzátette: „A Földtől 6000 fényévre keletkezett gamma-kitörésnek pusztító hatása lenne a földi életre. Nem tudjuk biztosan, hogy egy

ehhez hasonló mikor következhetett be, de majdnem biztosak vagyunk abban, hogy valamikor megtörtént - és nyomot hagyott maga után."

Arról azonban már jóval kevesebbet tudunk, hogy az effajta komoly következményekkel járó események milyen gyakran következnek be a közelünkben. Az *International Journal of Astrobiology*ban 2004-ben megjelent írásában Melott úgy becsülte, hogy egy veszélyesen közel kerülő gamma-kitörés egymilliárd évente átlagosan kétszer vagy valamivel többször fordulhat elő. így tehát statisztikailag nem túl nagy a valószínűsége annak, hogy az elkövetkező legalább 500 millió év során illesmivel kell szembenéznünk.

A Földtől 6000 fényévre keletkezett gamma-kitörésnek pusztító hatása lenne a földi életre. Nem tudjuk biztosan, hogy egy ehhez hasonló mikor következhetett be, de majdnem biztosak vagyunk abban, hogy ez valamikor megtörtént - és nyomot hagyott maga után.

Bocsánatos bűn azt gondolni, hogy egy vákuum teljesen üres. Sőt mi több: a vákuum magának az üresen táton-gó űrnek a definíciója. Az égvilágon semmi sincs benne. A teljes hiány jellemzi. Jogosan gondoljuk hát, hogy ha nincs benne semmi, akkor semmi olyasmi sincs benne, ami ártani tudna nekünk vagy a világnak. Ezzel vége is lenne a fejezetnek. Mindez azonban tévedés.

Vákuumbomlás

A kvantummechanika egyik legkülönösebb felfedezése, hogy egy tökéletesen üresnek vélt vákuum valójában nem is üres. Ez a következetés e tudományág valószínűleg a legtöbb ember által ismert alapelvére, Werner Heisenberg határozatlansági relációjára vezethető vissza, amely azt mondja ki, hogy lehetetlen egy kvantumrészecske, például foton vagy elektron bizonyos jellemzőit, vagyis a térbeli helyzetét és a sebességét egy időben megmérni. Minél pontosabb adatokkal rendelkezünk az egyik tulajdonságára vonatkozóan, annál pontatlanabb eredményt kapunk a másik változóra.

A határozatlansági relációt alkalmazhatjuk a részecskét jellemző energiára és időre vonatkoztatva is, így lehetséges az, hogy rendkívül rövid időtartamra egy kvantumrendszer energiája nagyon bizonytalannak tekinthető. Valójában ez a rendszer időnként elegendő energiát vehet fel a vákuumtól, hogy teljesen új részecskéket hozzon létre, amennyiben

ezek nem léteznek túlságosan hosszú ideig. Ezek a virtuális részecskék általában párban jelennek meg (ilyen például az elektron és annak antianyag párja, a pozitron) egy igen rövid időre, majd kioltják egymást.

A kvantummechanika szerint egy vákuum egyáltalán nem üres, hanem folyamatosan kialakuló és eltűnő virtuális részecskepárok hemzsegnek benne. Olyan, akár egy zubogó energialeves, ennél fogva nem minden veszély nélküli.

Felfúvódás és hamis vákuumok

Ahhoz, hogy megértsük, egy vákuum milyen veszélyeket rejthet magában, vissza kell térnünk a világgegyetem keletkezéséhez. Nem sokkal a Nagy Bummot, majd pár percig tartó folyamatos tágulását követően újonnan született univerzumunk hihetetlen gyorsasággal kezdett el felfúvódni, akár egy léggömb. A felfúvódás ezen időszakában 10^{-35} másodpercenként megkétszerzte a méretét, és mire ez a felfúvódás a Nagy Bummot követő 10^{-32} -dik másodpercben befejeződött, ez kb. százszor végbement. Talán könnyebb mindezt úgy elképzelünk, hogy ha a világgegyetem a keletkezésekor 1 cm átmérőjű volt, akkor 10^{-32} másodperc múlva, a felfúvódás első mozzanatát követően 2,7 cm-re nőtt, a második után 7,4 cm lett a mérete, a harmadik után pedig már 20 cm. A huszadik ilyen lépéssel már 4850 km szélesre, az ötvenedikkkel pedig 5480 fényévre növelte az átmérőjét. Ráadásul ez a folyamat összesen alig 10^{-34} másodpercet vett igénybe.

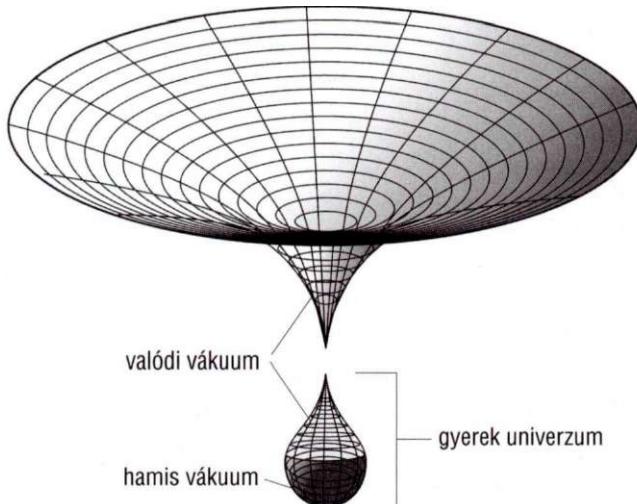
Mire a felfúvódás nagyjából száz ilyen mozzanatot követően befejeződött, a világgegyetem 10^{43} -szorosára nőtt. Ráadásul ez csak a mérsékelt verziója ennek az elméletnek - egyes számítások szerint ez a felfúvódás még ennél is gyorsabban ment végbe, a hirtelen tágulás mértéke pedig akkora volt, mintha a tízet billiószor megszoroztuk volna önmagával.

A felfúvódás elméletét kidolgozó Alan Guth, a Massachusettsi Műszaki Egyetem fizikusa szerint az anyagnak ezt az igen gyors tágulását a *hamis vákuum* kibocsátotta energia idézte elő. Miközben ez *valódi vákuummá* alakult át, sajátos antigravitációt hozott létre a környező űrben, amely a megszokott gravitációs vonzással ellentében, amely minket is a Földön tart, és a Földet a Nap körül, kifelé ható, taszító erőt fejt ki.

A hirtelen felfúvódást követően a helyzet stabilizálódott, az univerzum pedig a mai napig folytatja a tágulást, bár jóval kisebb és állandóbb mértékben. Ezzel meg is feledkezhetnénk a hamis vákuumokról. Nos, attól tartok, nem ez a helyzet. „A hamis vákuumok instabilak, de az elméletek többsége szerint éppen úgy bomlanak el, mint a radioaktív anyagok, például a rádium” - állítja Guth. Ez azt jelenti, hogy az elbomlást ugyanolyan felezési idő jellemzi, amely után a hamis vákuum fele mégiscsak megmarad. Két ilyen feleződést követően az eredeti vákuumnak csak az egyenegyede marad fenn, és így tovább. Ez pedig azt jelenti, hogy valahol, odakint a világűrben jelenleg is létezik egy hamis vákuum.

A bomlás közben a hamis vákuum egyben tágul is, és ez a tágulás gyorsabban megy végbe, mint a bomlás. Igaz ugyan, hogy egy ilyen felezés után csak a hamis vákuum fele marad meg, de ez így még mindig nagyobb lesz az eredeti méreténél. „A hamis vákuum soha nem tűnik el teljesen, ehelyett folyamatosan nő a térfogata” - állítja Guth. - A hamis vákuum egyes részei véletlenszerűen bomlanak el, és ezzel egyre gyakrabban hoznak létre újabb ún. buborékuniverzumokat. Ezen a végtelen buborék-univerzum fán a mi világegyetemünk csak egy lenne a sok közül.”

A buborékuniverzumokat létrehozó hamis vákuum egyre alacsonyabb és egyben egyre stababbr energiaszintre kerül. A fizikusok úgy sejtik, hogy minden egyes buborékuniverzumban ugyanazok a természeti törvények uralkodnak, de Guth nem olyan biztos ebben.



A hamis vákuum egyes részeinek elbomlásával új buborékuniverzumok jöhetnek létre, amelyekben más természeti törvények érvényesek és másfajta (vagy semmilyen) részecskék és erők léteznek.

„Elképzelhető, hogy a tér máshol nem háromdimenziós, az elemi részecskék tömege és a rájuk ható erők is megváltozhatnak. Ha feltételezzük, hogy sok különböző fajta tér létezik, akkor elképzelhető, hogy a buborékuniverzumok végtelen láncolata az összes lehetőséget felvonultatja.”

Mitől olyan veszélyes egy vákuum?

Nos, azt már látjuk, hogy egy vákuum jóval bonyolultabb jelenség, mint azt korábban gondoltuk volna: egy magasabb energiaszintű állapotból (hamis vákuum) egy alacsonyabb energiaszintű állapotba (valódi vákuum) képes elbomlani azáltal, hogy olyan buborékuniverzumokat

hoz létre, amelyek a fény sebességével tágulnak, és amelyek mindegyikében valószínűleg más és más fizikai törvények uralkodnak.

Vajon mi történik akkor, ha az az univerzum, amelyben jelenleg élünk, az űrnek éppen olyan részén található, ahol a vákuum még az instabil, magasabb energiaszintű állapotában van? Más szóval, mi van akkor, ha a vákuumnak létezik egy még annál is stabilabb állapota, mint amelyikben jelenleg élünk? Ahhoz hasonlítana, mint amikor egy hegycsúcson állunk, ahonnan egyetlen lökés elegendő lenne ahhoz, hogy a hegy lábánál található alacsonyabb energiaszintű helyre legruljunk. A kérdés csak az, hogy az a vákuum, amelyben élünk, ennek a bizonyos hegyek a tetején vagy a lábánál található éppen?

Elképzelhető, hogy a Föld, a Nap, a Naprendszer és az egész galaxis, ahol élünk, jelenleg is egy ilyen hamis vákuumban van, amelyik bármelyik pillanatban egy alacsonyabb energiaszintű vákuummá alakulhat át, miközben létrehoz egy újabb buborékuniverzumot. Ez a vákuumbomlás a fény sebességével menne végbe és az általunk ismert fizikai törvényeket teljes mértékben megváltoztatná. Ezeknek az új törvényeknek engedelmeskedve az alapvető erők teljesen máshogyan viselkednének, például többé nem tartanák össze az atomokat. Velünk együtt minden a darabjaira hullana szét és átalakulna energiává. Az így keletkező energia egy idő múlva talán újból valami mássá sűrűsödne össze, az anyag új formái jelennének meg, amelyekre az új fizikai törvé-

nyek hatnának. Mi minden esetre már rég nem leszünk itt, hogy mindez végignézzük.

Egy vákuumbomlást követően

válna lehetetlenné, de az általunk ismert kémia is.

az általunk ismert összes életforma végét jelentené. „Annak a lehetősége, hogy esetleg egy hamis vákuumban élünk, soha nem volt szívdírtó gondolat - írta. - A vákuumbomlás a végső ökológiai katasztrófát

1980-ban Sidney Coleman, a Harvard Egyetem fizikusa kiszámította, hogy a vákuumbomlás

jelentené; az újonnan kialakuló vákuumban új fizikai állandók jönnének létre; nyomában nemcsak az általunk ismert élet válna lehetetlenne, de a ma ismert kémia is. Mindenesetre nyújthat némi vigaszt az a lehetőség, hogy talán az idők során az új vákuumban kialakulnának, ha nem is az általunk ismert élet formái, de legalábbis néhány olyan struktúra, amelyek képesek például örömet érezni. Ez a lehetőség mára megszűnt."

Mennyi a valószínűsége ennek?

A vákuumbomlást alátámasztó elmélet tudományosan is megállja a helyét. Az, hogy minden szándékunk és igyekezetünk ellenére a valóságban is megtörténhet-e, nem tudható és nem is jósolható meg előre. Az a tény, hogy az általunk észlelt univerzum ilyen régóta létezik, azt sugallja, hogy a vákuumbomlással együtt járó buborékuniverzum-képződés eddig még nem következett be, minden azonban semmilyen biztosítékot nem jelent a jövőre nézve.

Akit minden szomorúsággal vagy aggodalommal tölt el, annak némi megnyugvást nyújthat az a szabály, amely a fizikának ugyanahhoz a területéhez kapcsolódik, amelyikhez a vákuumbomlásé is: a kvantummechanikához.

Ez kimondja, hogy a kvantumrendszerek viselkedésének előrejelzése lehetetlen; ehelyett minden rendszerhez hozzárendelhető a lehetéges forgatókönyvek sora, bekövetkezésük valószínűségével együtt. A kvantummechanika ún. *sokvilág-interpretációja* szerint minden ilyen lehetőség valójában különböző univerzumokhoz tartozik. Ha például egy hatoldalú kockát eldobunk, minden a hat különböző oldal, amelyre eshet, különböző univerzumokat képvisel. Amikor épp a négyesre esik, mi a dobás összes meghatározó körülményével együtt a hat különböző univerzum egyikébe kerülünk. A többi öt lehetséges univer-

zumban, amelyek valahol valóban léteznek, a dobókocka a többi szám valamelyikére esik.

A kvantummechanika ugyanazon törvényei alapján, amelyek egy nap talán végzetes vákuumbomláshoz vezetnek, ugyancsak arra az egyértelmű következtetésre juthatunk, hogy ezzel egy időben új universumok jönnek létre, amelyek viszont megússzák ezt a fajta pusztulást. Az egyik oldalról a kvantummechanika egy szempillantás alatt megfoszt bennünket az életünkötől, másrészt viszont lehetővé teszi, hogy minden úgy folytatódjon tovább, mintha semmi sem történt volna.

Tételezzük fel, hogy központi csillagunk szörnyű támadásnak néz előbe! Egy kozmikus lövedék tart Naprendszerünk irányába, és egyenesen a Nap középpontját vette célba. Ha ez a támadó egy fehér törpe lenne, azaz egy igen nagy sűrűségű haldokló csillag, amelynek tömege megegyezik a Nap tömegével, csak századannyi a térfogata, minden az egész Naprendszerünk végét jelenthetné.

Szoláris ütközés

z az egyre közeledő fehér törpe megváltoztatná a bolygók pályáját, képes lenne egyiküket (talán éppen a Földet) a Nap körüli elliptikus pályáról eltéríteni, sőt akár ki is repíthetné a Naprendszerből. Még közelebb érve megváltoztatná csillagunk alakját: a lövedék intenzív gravitációs mezeje a Napot alkotó gázokat maga felé húzná, ezzel megnyújtaná az alakját.

A kölcsönös gravitációs vonzás felgyorsítaná minden két csillagot, és a fehér törpe majdnem 650 km/s sebességgel rohanna bele egyenesen a Napba. A Földről nézve fantasztikus tűzijátéknak lehetne szemtanúja bárki, aki ekkor még életben lenne.

Az ütközés hatalmas lökéshullámot keltene a Napban, amely egyrészt összenyomná, másrészt hirtelen az őt alkotó hidrogén fúziójához szükséges fölét emelkedne az egész csillag hőmérséklete. Korábban csak a Nap középpontjában volt olyan magas a hőmérséklet, ami a magfúzióhoz szükséges. A következő egy órában a rendkívül forró égitest olyan mennyiségű energiát bocsátana ki a hidrogénatomok fúziójának következetében, amennyit normális működés esetén 100 millió év alatt tett volna. Hogy ekkora energia ilyen rövid idő alatt szabadulna fel, az azzal járna, hogy a gáz a szökési sebességnél gyorsabban tágulna, és a Nap szétrebbantana saját magát. Eközben az egyre növekvő sugárzás és a Napból érkező forró gázfelhők hatására egyszerűen megszűnne a légkör és eltűnnének a Föld színéről az óceánok.

Alig egy órával azután, hogy összeütközött a Nappal és minden élletet elpusztított a Földön, a fehér törpe szinte érintetlenül folytatná az útját a világűr mélyére.

A világűrben gyakoriak az ütközések

Különösen hangzik, hogy egy fehér törpe egyszer csak minden figyelmet nélkül belerohan a Napba. Nyugodtan hátradőlhetünk azon-

ban abban a biztos tudatban, hogy ez valószínűtlen. Ha léteznek is a galaxisnak olyan részei, ahol minden naposak az ilyen ütközések, ahhoz hogy bármi belerohanjon a Napunkba, a becsült esélye nagyjából egy a tízbillió-billió évhez.

A XX. század túlnyomó részében a csillagok összeütközésének lehetősége, de még az ötlet megvizsgálása is nevetségesnek tűnt a csillagászok számára. Michael Shara, a New York-i Amerikai Természettudományi Múzeum (American Museum of Natural History) kurátora és asztrofizikai részlegének igazgatója szerint „a Nap közvetlen szomszédságában található csillagok közötti távolság is olyan hatalmas, hogy nem sok esélye van a találkozásuknak. Sokféle csapás érheti a Napot (és a Földet) a távoli jövőben, de az összeütközés egy közel csillaggal nem túl valószínű. Sőt a XX. század elején James Jeans brit asztrofizikus által elvégzett egyszerű számítások is arra utaltak, hogy a galaxisunkban létező százmilliárd csillag közül még egyetlenegy sem ütközött össze egy másikkal.”

Az első arra utaló jelek, hogy a világűr mélyén időnként igenis előfordulhat a csillagok összeütközése, az 1950-es években először megfigyelt különös kék csillagok voltak, amelyek a világűr csillagokat és port nagy sűrűségben tartalmazó részeinek a közepén, az ún. gömbhalmazokban voltak. A galaxis felénk eső részében a világűr minden tíz köbfényévnyi területére egyetlen csillag jut; egy gömbhalmazban ugyanekkora területen akár több száz csillag is lehet.

A kék csillagok a legforróbb csillagszerű égitestek közé tartoznak, amelyek jóval gyorsabban égetik el a fűtőanyagul szolgáló hidrogént, mint a kisebb, sárgább fényű csillagok. A befogadó gömbhalmazok azonban legjobb tudomásunk szerint már évmilliárdokkal korábban kimerítették a normális esetben új csillagok kialakulásához szükséges

A galaxisunkban létező százmilliárd csillag közül még egyetlenegy sem ütközött össze egy másikkal.

gázelhőket. A csillagászok által megfigyelt kék csillagok egyszerűen túl fiatalok voltak ahhoz, hogy ott keletkezzenek, ahol észlelték őket.

A Hubble-űrteleszkóp mérései azt mutatták, hogy ezek az elköszált kék csillagok valójában nem szokványos égitestek voltak, amelyek valahogy megőrizték a fűtőanyagukat, így képesek voltak tovább fennmaradni. Nagy valószínűséggel két jóval öregebb csillag ütközhetett össze, majd egyesült, ezáltal létrehozva egy vadonatújat, amely sokkal fiatalabbnak tűnt.

Amikor csillagok ütköznek össze...

Azt, hogy két csillag összeütközésekor mi minden történik, számos tényező befolyásolhatja, nem utolsósorban az égitestek sebessége, az őket alkotó anyagok, illetve hogy mennyire találják egymást telibe. „Az eredmény esetenként csak egy kisebb koccanás, máskor viszont teljes összecsattanás lehet, az esetek többségében pedig valami a kettő között - állítja Shara. - A nagy sebességű frontális ütközés következtében a mozgási energia hővé és nyomássá alakul át, az eredmény pedig pusztító lehet.”

Az eredmény esetenként csak egy kisebb koccanás, máskor viszont frontális ütközés lehet, az esetek többségében pedig valami a kettő között.

egy Naphoz hasonló csillag és egy jóval sűrűbb, például egy fehér törpe frontális ütközésének lehetséges következményeit tanulmányozta. „Miközben a Naphoz hasonló csillag megsemmisülne, a 10 milliószor sűrűbb fehér törpe megúszná legkülső rétegeinek enyhe felmelegedésével - írta 2004-ben a *Scientific Americanben* megjelent cikkében. - Az

abnormális mértékben megnövekedett felszíni nitrogénmennyiséget leszámítva, a fehér törpe látszólag érintetlen maradna."

Ha a két csillag mérete és sűrűsége nagyjából megegyezne, valami egészen más doleg történne. „Ahogy az eredetileg gömb alakú csillagok egyre közelebb kerülnének egymás-hoz, egymást félhold alakúvá nyomnák össze és torzítanák el. A hőmérsékletük és a sűrűségük soha nem érné el azt a mértéket, amely a termonukleáris égést beindíthatná. Miközben teljes tömegük jelentéktelen hányada a csillag mozgására merőleges irányban kilövellne, megmaradó tömegük teljesen összekeveredne egymással. Egy óra elteltével a két csillag egyetlen égitestté egyesülne.”

A gömbhalmazokon belül, a világűr többi részéhez viszonyítva, gyakoribbak az összeütközések, mivel a bennük található csillagok mozgása viszonylag lassú. Amíg a Nap kozmikus szomszédaiban viszonyított sebessége kb. 76 ezer km/h, az ilyen gömbhalmazban keringő csillagok ennek a sebességnek a felével haladnak el egymás mellett. Ennek következtében több idő áll a két égitest rendelkezésére, hogy gravitációs erőt fejtsenek ki egymásra, amely elgörbíti a pályájukat és megnöveli annak az esélyét, hogy összeütközzenek. „A csillagok az előre beprogramozott keringési pályával rendelkező ballisztikus lövedékekkel olyan irányított lövedékekkel válnak, amelyek egyenesen a célpontjuk felé tartanak. Az összeütközés így tízezerszer nagyobb valószínűsséggel fog bekövetkezni. Sőt az egyes gömbhalmazok közepén keringő csillagok közel felével valószínűleg már legalább egyszer, vagy akár többször is megtörtént hasonló ütközés az elmúlt 13 milliárd év során” - állítja Shara.

SZOLARIS ÜTKÖZÉS

esé, ye (

Van rá esély, hogy egy ilyen ütközés fog elpusztítani bennünket?

A csillagászok szinte biztosak abban, hogy az égitestek időnként összeütköznek egymással, és találtak is erre utaló jeleket a távoli gömbhalmazokon belül. Az azonban eddig még senkinek sem sikerült, hogy egy ilyen eseménynek a szemtanúja legyen. „Természetesen minden erre vonatkozó adat közvetett - mondja Shara. - Ennél jóval nehezebb egyértelmű, közvetlen bizonyítékkal szolgálni.”

E távoli összeütközések megfigyelése meglehetősen komoly kihívás, és valószínűleg a fényjelenségek vizsgálata helyett sokkal eredményesebb a felőlük érkező gravitációs hullámok elemzése. Amikor két szupermasszív égitest összeütközik, ez az esemény még a téridőben is zavart keltene. Albert Einstein általános relativitáselmélete szerint bármely ehhez hasonló ütközés következtében gravitációs hullámok terjednének szét az űrben. Ezek megnyújtják és elmozdítják magát a teret is, aminek következtében a két pont közötti távolság is megnyúlik és összezsugorodik, miközben ez az energia áthalad rajtuk.

„A Tejúrendszerben található 150 gömbhalmazban előforduló ütközések között átlagosan tízezer év telik el; a galaxis egyéb részein ez akár évmilliárdokba is telhet - állítja Shara. - Ha nagyon szerencsések vagyunk, akkor egy ilyen esemény hozzáink elég közel, mondjuk pár millió fényév távolságon belül következik be, hogy a csillagászok a jelenlegi technológiák segítségével közvetlenül is megfigyelhessék.”

Egy valódi összeütközés tanulmányozása izgalmas lehetőséget nyújtana a csillagászoknak, hiszen példátlan betekintést nyerhetnének a csillagok működésébe. Ugyanakkor élesen emlékeztetne bennünket arra, milyen veszélyekkel járhat két égitest találkozása.

Amikor 2009-ben a tudósok összegyűltek Genfben, hogy megünnepeljék a CERN által átadott nagy hadronütköztes gyűrű (Large Hadron Collider, LHC) beindítását, nem mindenki örült velük. Egy maroknyi ember már korábban is megpróbálta felhívni a figyelmet arra, hogy ez a gigantikus gépezet képes lehet fekete lyukakat létrehozni a Genf közelében fekvő hegy gyomrában, amelyek mindenkiutat (a Földdel együtt) magukba szíppanthatnának.

Mesterséges fekete lyukak

nagy hadronütköztes gyűrű, röviden LHC az ember által épített egyik legbonyolultabb és legkifinomultabb gépezet, amelynek célja, hogy a tudósok még közelebb kerüljenek a Nagy Bumm megértéséhez. Az emberi zsenialitás bizonyítéka, két évtized tervező- és építőmunkájának fizikai megtestesülése. Kétségtelen, hogy jelentős mértékben járul hozzá az emberiség által eddig felfedezett legalapvetőbb fizikai törvényszerűségek még alaposabb ismeretéhez.

Az ellenzőit azonban nem hatják meg az effajta ígéretes gondolatok. Ok ehelyett a lehető legijesztőbb következmény miatt aggódnak, amelyet maguk a részecskefizikusok vetettek fel: hogy a Földön is létre lehet hozni fekete lyukakat.

Különböző típusú fekete lyukak

A fekete lyuk említésére valószínűleg mindenkinek valami nagyon távoli, a világűr mélyén keringő dolog jut eszébe, amely roppant gravitációjával magába szippant és elpusztít minden, ami legnagyobb szerencsétlenségére az útjába kerül: csillagokat, bolygókat és űrhajókat.

Ez az elképzélés nagyjából helyes is. A kozmikus fekete lyukak úgy keletkeznek, hogy egy szupermasszív csillag életciklusának végén a gravitáció hatására minden, ami a csillagból maradt, egy végtelen sűrűségű dimenzió nélküli ponttá zuhan össze, amelyet gravitációs szingularitásnak nevezünk. Ez az implózió (az anyagi test robbanásszerű térfogatcsökkenése) olyan erejű, hogy magát a teret is képes szétszakítani, és a szingularitás adott sugarú környezetében minden magával ránt, még a fényt is - ezért is nevezik őket fekete lyukaknak. Semmit sem tudunk arról, hogy mi történik mindennek az eseményhorizontján belül, hiszen semmiféle információ nem képes kijutni az ezen belül ható gravitáció fogságából. (Lásd 282. o.)

Egy fekete lyuk mérete a tömegétől függ - a Nap belséjét alkotó anyagot nagyjából 3 km átmérőjűre, azaz a jelenlegi méretének négy-milliomod részére kellene összenyomni ahhoz, hogy fekete lyuk képződjön belőle; a Földét ugyanakkor 9 mm-essé, ami mostani méretének egymilliárdod része. Egyik sem

Ez az implózió olyan erejű, hogy ^ azQnban

természetes úton
felelőse fekete lyukká alakulni, egyszerűen azért, mert nem rendelkeznek akkora gravitációs erővel, amely képes lenne a tömegüket ilyen kis területre összehúzni.

Ezek a kozmikus szörnyetegek azonban nem az egyetlen, fizikusok által lehetségesnek tartott, természetes formái a fekete lyukaknak. Az 1970-es években Stephen Hawking és Bernard Carr asztronominások azt vizsgálták, vajon létrejöhettek-e fekete lyukak a világgyerem ko-

rai szakaszában, amikor mind az energiák, mind az anyag sűrűsége olyan roppant volt, ami lehetővé tette, hogy egyes területeken kisebb szingularitások alakuljanak ki. A fizikai törvényszerűségek szerint az anyag sűrűsége nem haladhatja meg az \bar{u} n. Planck-értéket, azaz a 10^{97} kg/m^3 -t, mivel ekkor a gravitáció olyan erőssé válik, hogy az anyag egy 10^{135} m átmérőjű és 10^{-8} kg tömegű fekete lyukká omlik össze. Hawking és Carr ezeket az elméleti szingularitásokat ősi fekete lyukaknak nevezte el.

Elképzelhető, hogy a végtelen sűrűségű és hőmérsékletű fiatal universzumban lehetséges volt az ilyen apró fekete lyukak kialakulása. Ahhoz azonban, hogy bármilyen hasonló létrejöjjön itt a Földön, rekonstruálnunk kellene a korai világgegyetem körülményeit röviddel a Nagy Bummot követő időszakban.

Fekete lyukak a Földön

Nos, az LHC-t éppen arra terveztek, hogy megteremtsék benne a Nagy Bummot követő pillanatok körülményeit. Azáltal, hogy egymással szemben haladó protonokat a fényt megközelítő sebességűre gyorsítanak fel, a tudósok az ütközés során keletkező új részecskékre vonatkozó bizonyítékokat szeretnének találni, és kitágítani a természetről szerzett ismereteink határait.

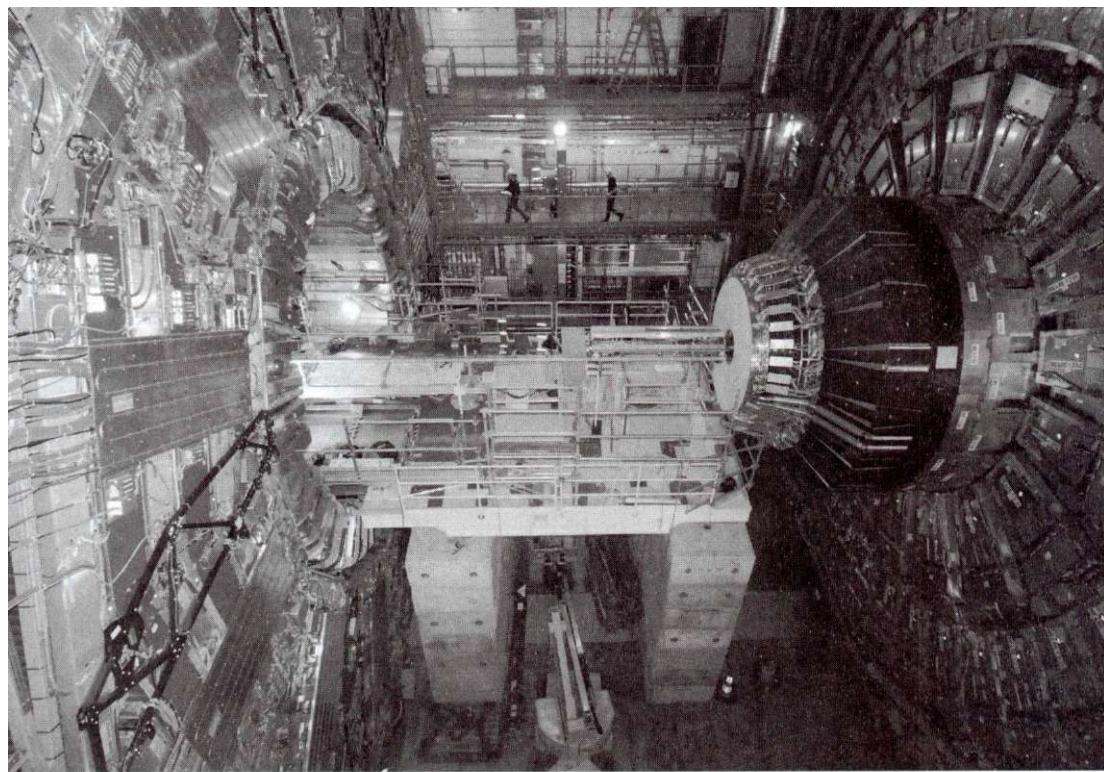
Amikor egy protont felgyorsítanak az LHC-ben, az energiája eléri a 7 TeV-ot. Albert Einstein $E = mc^2$ egyenlete alapján egy ilyen energiájú proton tömege 10^{-23} kg -nak felel meg, ami kb. hétezerszerese egy nyugalmi állapotban lévő proton tömegének. „Amikor két ilyen nagy sebességű részecske összeütközik, az energiájuk a tér egy nagyon kicsi területre koncentrálódik. így felmerül a lehetősége, hogy az összeütköző részecskék időnként annyira közel kerülnek egymáshoz, hogy létrehoznak egy fekete lyukat” - állítja Carr.

Már első pillantásra is van egy nagy probléma ezzel az érveléssel. Két 10^{-23} kg tömegű proton együttesen is túl kis mennyiségű anyagot alkot ahoz, hogy egy Hawking- és Carr-féle űsi fekete lyukat hozzanak létre, amelynek legalább 10^{-8} kg tömegűnek kellene lennie. Ezt két proton segítségével csak akkor lehetne megteremteni, ha még ennél is jóval nagyobb lenne a sebességük, ehhez azonban a részecskegyorsítót akkorára kellene építeni, mint maga a galaxisunk.

Akkor mégis miért aggódik bárki is a Földön létrehozható fekete lyukak miatt? Azért, mert Hawking és Carr elmélete a hagyományos általános relativitáselméletre épül, azaz a gravitáció azon matematikai leírására, amelyet Einstein a XX. század elején fogalmazott meg. Az azóta felmerült elképzelések a gravitáció működésére vonatkozóan arra utalnak, hogy egy ún. mikro fekete lyuk kialakulása esetleg a két fizikus eredeti számításainál sokkal kisebb sűrűség esetén is lehetséges.

„A gravitáció kvantumelméletével rivalizáló teóriák egyike, a húr-elmélet azt sejteti, hogy a tér megszokott három dimenzióján túl több is létezik - állítja Carr. - Más erőkkel ellentétben, a gravitáció ezekben a dimenziókban is megjelenhet, és ennek eredményeként váratlanul erősebbé válhat rövid távolságokon. Ha a két tárgy közötti távolságot három dimenzióban megfelezzük, akkor ennek hatására a gravitációs erő megnégyeződik. Kilenc dimenzió esetén azonban hasonló esetben a gravitáció a 256-szorosára nőne. Ez a hatás nem elhanyagolható, amikor a tér extra dimenziói kellően nagyok, aminek a lehetőségeit az utóbbi években széles körűen kutatták. Az extra dimenzióknak léteznek egyéb konfigurációi is, az ún. görbült extra dimenziók, amelyek hasonló gravitációtölhető hatással rendelkeznek, és talán még valószínűbb az előfordulásuk a húrelmélet beigazolódása esetén; az elmúlt évek során ezeket a területeket sokan kutatták.”

Amennyiben a gravitáció valóban átterjed más dimenziókba, ez azt jelentheti, hogy a fekete lyukak kialakulásának küszöbértéke jóval



A nagy hadronütközötő gyűrű egyik detektorának, a CMS-nek a (Compact Muon Solenoid) belseje, amely az európai részecskegyorsító fizikai laboratóriumban, a CERN-ben található. A gyűrű Genf-től nem messze, egy 27 km kerületű föld alatti, kör alakú alagútban helyezkedik el, amelyben közel fénysebességgel haladó protonokat ütköztetnek egymással.

alacsonyabb a Planck-sűrűségnél. Ebből az következik, hogy a mikro fekete lyukak földi körülmenyek közötti létrehozásához szükséges sűrűség beleférne az LHC tartományába. 2001-ben tudósok kiszámították, hogy a Planck-sűrűség alsó határértékeivel számolva, az LHC-ben a protonütközések következtében másodpercenként létrejönne egy fekete lyuk. Arra a következtetésre jutottak, hogy a CERN részecskegyorsítója gyakorlatilag fekete lyukat előállító üzemmé válna.

Kell-e emiatt aggódnunk?

Tekintve a világűrben található fekete lyukak agresszivitását, nyugtalanító a gondolat, hogy naponta ezzével jönne létre valami hasonló dolog a CERN-ben. Vajon előfordulhat, hogy ezek egyszer csak kiszabadulnak a részecskegyorsítóból, és elkezdi bekebelezni a bolygókat?

Ez egyébként nem pusztán elméleti aggodalom. Az emberek minden félnek kezdenek, valahányszor egy nagy részecskegyorsító működésbe lép; az LHC beindítását megelőzően két hawaii lakos szövetségi pert indított annak érdekében, hogy a tudósok egészen addig függeszék fel a további munkát, amíg a részecskeütközések lehetséges katasztrofális következményeit újra számba nem vették.

A kedélyek megnyugtatása érdekében Frank Wilczek, a Massachusettsi Műszaki Egyetem fizikusa rámutatott, hogy egy kozmikus fekete lyuk sok mindenben különbözik a Földön létrehozható fekete lyukaktól. A problémát ahhoz hasonlította, mint amikor egyetlen szavunk van a világ összes állatára, de amikor ezt a szót eredetileg megalkottuk, az elefántra gondoltunk. De tartsuk észben, figyelmeztet Wilczek, hogy az amőbák is állatok.

Az első dolog, amiről nem szabad megfeledkeznünk, amikor az LHC-ben létrehozható fekete lyukakról beszélünk, hogy ezek olyan parányiak lennének, amelyeknek a gravitációs mezeje sem lenne valami nagy kiterjedésű. Csak a jó néhány tonna tömegű fekete lyukak lennének képesek elnyelni a Földet - az LHC-ben születő dolgok súlya azonban egy grammnak az értékelhető hányadát sem éri el.

Minden esetre egy ilyen fekete lyuk még azelőtt elpárologna, hogy bármiféle kárt okozhatna. Ez a következtetés Hawking 1970-es években tett előrejelzéseire vezethető vissza. Az a gondolat, hogy a fekete lyukak akár kicsiben is létrejöhetnek, arra készítette a fizikusokat, hogy eltöprengjenek: vajon az anyag legkisebb alkotóelemeit leírni hi-

vatott fizikai elméletnek, a kvantummechanikának milyen fontos hatásai lehetnek a viselkedésükre. „Hawking 1974-ben jutott arra a híres következtetésére, hogy a fekete lyukak nemcsak elnyelik, ki is köpik a részecskéket - mondja Carr. - Előre megjósolta, hogy egy fekete lyuk éppen úgy bocsát ki magából hőt, akár egy forró széndarab, amelynek a hőmérséklete fordítottan arányos a tömegével. Egy naptömegű fekete lyuk esetében a hőmérséklet egymilliomod K, ami tökéletesen elhanyagolható a jelenlegi világgyetemben. Egy 10^{12} kg, azaz nagyjából egy hegy súlyával megegyező tömegű fekete lyuk hőmérséklete azonban 10^{12} K lenne, ami már elég forró ahhoz, hogy tömeggel nem rendelkező részecskéket, például protonokat, és tömeggel rendelkezőket, mint például elektronokat és pozitronokat lökjön ki magából.”

Ez a kilökődés energiát igényel, ami azt jelenti, hogy a fekete lyuk tömege idővel fokozatosan csökkenne. Zsugorodás közben tovább emelkedne a hőmérséklete, amitől újabb részecskéket bocsátana ki és még gyorsabban töpörödne. „Amikor a fekete lyuk elérné a nagyjából 10^6 kg tömeget, a játszma véget érne: 1 másodpercen belül egy 1 millió megatonnás atombomba energiájával robbanna fel - állítja Carr. - Egy fekete lyuk elpárolgásához szükséges idő az eredeti tömegének köbével arányos. Egy naptömegű fekete lyuk esetében ez az idő megfigyelhetetlen lenne: 10^{64} év alatt menne végbe. Egy 10^{12} kg tömegű fekete lyuk esetében ez az elpárolgás 10^{10} évig tartana - ez nagyjából megegyezik a világgyetem jelenlegi korával. így tehát egy ilyen tömegű űsi fekete lyuk, amely a világgyetem születése után nem sokkal keletkezhetett, éppen most érne e folyamat végére és robbanna fel. Az ennél kisebb tömegűek pedig egy korábbi kozmológiai korszakban párologhattak el.”

kialakulása évente

Föld körében: 100

Öviágegyetemben: 10 millió

Amennyiben egy proton-proton összeütközés az LHC-ben képes lenne létrehozni egy fekete lyukat, az 10^{-26} másodperc alatt el is tűnne a Hawking-sugárzás egy villanásával.

Mik az esélyeink?

A CERN számára készített tanulmányban a tudósok arra hívták fel a figyelmet, hogy bár az LHC olyan nagy energiákat képes létrehozni, amire egyetlen más részecskegyorsító sem volt eddig képes, a természetben rendszeresen előfordulnak ennél jóval magasabb energiájú részecskék ütközései. Az, ami az LHC-ben történik, a természetben már számtalanszor bekövetkezett a Föld és más égitestek élete során.

„A külső világűrben keletkező részecskék kozmikus sugarainak nemelyike olyan energiájúra képes felgyorsulni, amely messze meghaladja az LHC kapacitását - közölte a CERN. - Azt az energiát és sebességet, amellyel ezek elérik a Föld légkörét, közel 70 éve mérik meg különböző kísérletekben. Az elmúlt pár milliárd év során a természet már millió LHC-kísérlethez hasonló összeütközést hozott létre, bolygónk mégis él. A csillagászok hatalmas mennyiséggű nagyobb égitestet figyelnek meg a világgeyetemben, amelyeket ugyancsak elérnek ezek a kozmikus sugarak. A világgeyetem másodpercenként több mint 10 billió LHC-kísérletet végez el. A veszélyes következmények lehetőségének ellentmond a csillagászok azon megfigyelelése, miszerint a csillagok és galaxisok még mindig léteznek.”

Az a számítás, amely szerint az LHC gyakorlatilag egy mikro fekete lyukakat előállító üzemmé válhat, arra is rámutatott, hogy a Föld légkörében évente közel 100 fekete lyuk jön létre a kozmikus sugarakkal való összeütközések következtében. Mindezek tudatában, talán a létezésünk a legjobb bizonyíték arra: nem valószínű, hogy az LHC képes lenne az egész Földet elnyelő hatalmas fekete lyukat létrehozni.

Mi történne, ha sikerülne kapcsolatot teremtenünk olyan földönkívüliekkel, akik úgy döntenének, hogy meglátogatnák bennünket? Talán jó szándék vezérel né őket, de erre nincs semmi garancia.

Talán úgy tekintenének a Föld gazdag nyersanyaglelőhelyeire, mint kifosztásra váró átmeneti állomásra, ahonnan tovább folytatthatják felfedező útjukat még izgalmasabb területek felé.

Ellenséges foldonkívuliek

Ha a sci-fi filmekben szereplő földönkívüliek nem barátságosak, akkor általában rettentően gonoszak. A függetlenség napjában (*Independence Day*) elpusztítják a világ nagyvárosait, a Világok harcában (*War of the Worlds*) pedig mindenkit legyilkolnak, aki csak az útjukba kerül. Nehéz elfelejteni a Támad a Mars! (*Mars Attacks!*) gonosz földönkívülieit, akik leplezetlen örömmel robbantanak fel épületeket, embereket egyaránt.

Ha egy ilyen látogatás valóban megtörténne, az kizárolag egy fejlettebb civilizációból érkezhetne, amely már megoldotta a csillagközi utazás problémáját, és valószínűleg olyan technológiával és hatalommal rendelkezik, hogy azt tehetné bolygókkal, amit csak akar. Ha szerencsénk van, képviselői ártalmatlannak ítélnék bennünket, és látogatásuk során tudomást sem vesznek rólunk. Ugyanakkor az is lehetséges, hogy számunkra mérgező hulladékot hagynak hátra, vagy véletlenül olyan vírust vagy más kártevőt hoznak magukkal, amely kiírtaná az emberiséget a Föld színéről.

A kiváló fizikus, Stephen Hawking is egyike azoknak, akiket ez a lehetőség aggodalommal tölt el. „A földönkívüliek látogatása Kolumbusz partraszállására emlékeztetne Amerikában, ami nem sok jót jelentett a bennszülött őslakosok számára” - mondta Hawking egy 2010-ben a Discovery Channel számára készített dokumentumfilmben. Érvei szerrint ahelyett, hogy az élet más formáit és a velük való kapcsolatteremtést keresnénk, az emberiség jobban tenné, ha inkább megpróbálná elkerülni a kontaktust. Amikor egy olyan okos ember tesz ilyen kijelentést, mint Hawking, arra érdemes odafigyelnünk, nem igaz?

Rossz ötlet ET után kutatnunk?

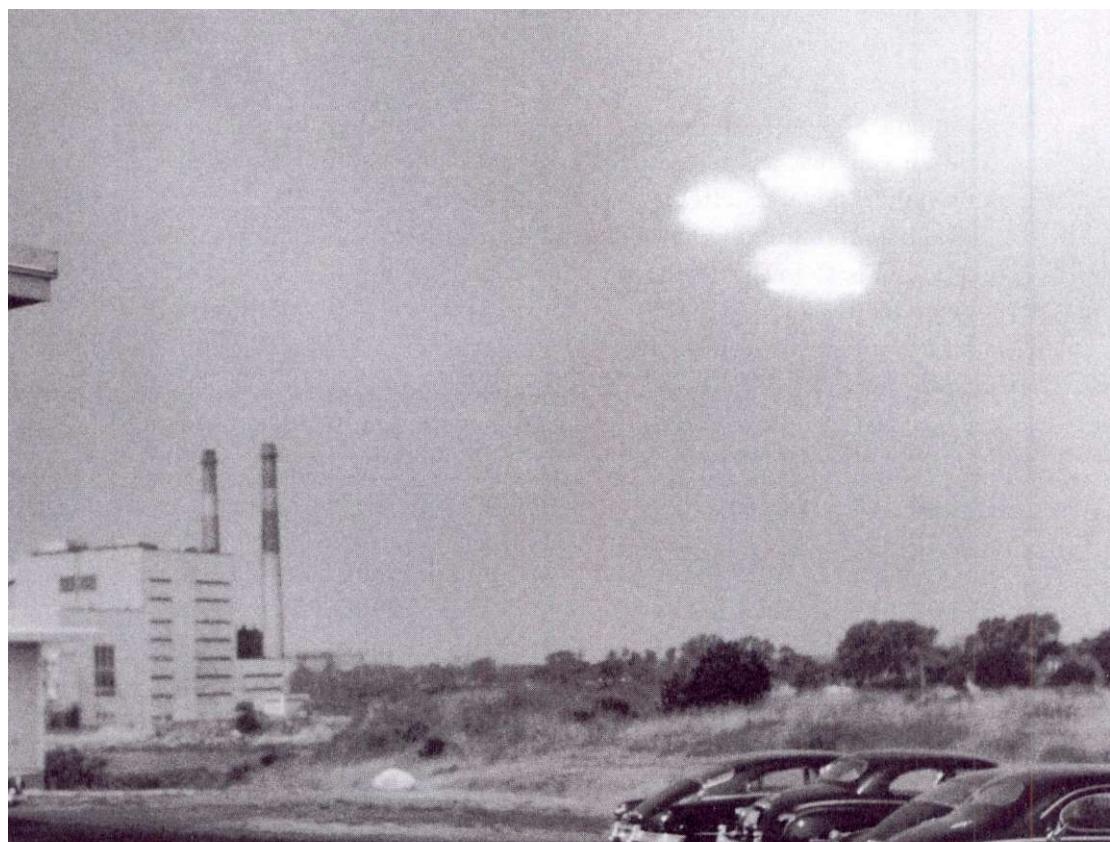
Az asztrobiológusok és csillagászok immár több mint fél évszázada kutatják a földön kívüli élet nyomait, ami részben az emberi kíváncsiság

eredménye, hogy vajon egyedül vagyunk-e az univerzumban, részben annak a vágynak a kifejeződése, hogy megismerkedjünk és találkozzunk nálunk jóval fejlettebb civilizációkkal.

Galaxisunkban több milliárd csillag található és értelemszerűen még ennél is több égitest kering körülöttük. Néhányan ezek közül bizonyára az ūn. lakható övezetben helyezkednek el, azaz központi csillaguktól éppen megfelelő távolságban (akkorcsak a Föld a Naptól), és olyan hőmérsékleti viszonyok között, amelyek lehetővé teszik az élet kialakulását és fennmaradását. Ha csak a számokat hívjuk segítségül, nem lehetetlen azt feltételeznünk, hogy némely életforma fejlett annyira, hogy képes legyen a csillagközi kommunikációra.

A Föld történetének legszéleskörűbb és legaktívabb vadászata a földön kívüli élet után 1960-ban kezdődött, amikor Frank Drake csillagász a Nyugat-Virginiában található Green Bank-i rádióteleszkóppal a Tau Ceti csillagot célba vette. Olyan abnormális rádiójelek után kutatott, amelyek intelligens élet nyomaira utalhatnak. Végül ebből az ötletből született meg a földön kívüli intelligencia keresése (Search for Extra Terrestrial Intelligence, SETI) tudományág, amely a rádióteleszkópek üzemen kívül töltött idejét használja arra világszerte, hogy az égboltot pásztázva földönkívüliekre utaló árulkodó jelek után kutassanak. Az elmúlt 50 év során a SETI folytatta ezt a keresést, de a világűr egyelőre hallgat.

Az idegenek felkutatása rengeteg gyakorlati problémát vet fel. Az egyik legfontosabb ezek közül a távolság. Galaxisunk hatalmas kiterjedésű: egyetlen fény sugár 100 ezer év alatt jut el az egyik végéből a másikba. Amennyiben a legközelebbi szomszédaink a *Csillagok háborújából* ismert 1000 fényévnyi távolságra található Endor erdőkkel borított holdján található életformák lennének, akkor 1000 évbe telne, míg bármilyen általuk küldött üzenet megérkezne hozzánk. A válaszunk ugyanennyi idő alatt térne vissza hozzájuk. Ez nem igazán kedvezne a gyors riposztokkal teli tréfálkozásnak.



A képet az amerikai parti őrség fényképésze készítette a Massachusetts állambeli Salem-ben. Ez csak egyike volt a számos megfigyelésnek, amelyek során azonosítatlan légi jelenségeket regisztráltak szerte az országban.

Valószínűleg nem is velünk lépnének kapcsolatba. Ha az endoriak képesek lennének megfigyelni bennünket, az a fénysugár, amelyik éppen ebben a pillanatban érne el hozzájuk a Földről, bolygónk 1000 évvel ezelőtti állapotát mutatná nekik. Európában ekkor rengeteg lovag harcolt a várak megszerzéséért, Észak-Amerikában pedig őslakosok szörványos törzsei vándoroltak a hatalmas síkságokon. Ha a legközelebb élő idegenek több 10 ezer fényévre lennének tőlünk, ők már csak a

modern ember œseit figyelhetnék meg náluk jóval nagyobb vadállatok társaságában. Nem hibázthatnánk őket azért, ha nem különösebben szeretnének kapcsolatba lépni velünk.

Mennyire lehetnek veszélyesek az idegenek?

Lehetetlen megválaszolni ezt a kérdést, legalábbis addig, amíg egy földön kívüli faj valóban le nem száll a Földre és egyértelművé nem teszi a szándékait.

Jack Cohen és Ian Stewart, a Warwicki Egyetem matematika intézetének munkatársai szerint az idegenek a legkevésbé sem hasonlítanának a mindenki által ismert kicsi zöld emberkékre. A *Nature*-ben megjelent cikkükben arról írtak, hogy előfordulhat: a földön kívüli élőlények „valóban pontosan ügy néznek ki, mint az emberek. Vagy a macskák. Vagy a házilegylek. Esetleg láthatatlanok lennének, vagy valahol a mi téridő kontinuumunkon kiVül, egy ötödik dimenzióban rejtoznának.”

Az ET-től érkező életjelek hiánya nem akadályozta meg a csillagászokat és biológusokat abban, hogy különböző ötletekkel hozakodjának elő az idegenek külsejét illetően. A SETI első éveiben a csillagászok elsősorban a miénk-hez hasonló bolygók után kutattak. Az volt az elképzelésük, hogy mivel csak a saját biológiai felépítésünket ismerjük, akár azt is feltételezhetjük, hogy az idegenek hozzáink hasonlóak lesznek. Még sincs okunk feltételezni, hogy ez valóban így is van.

A világűr egyelőre hallgat,

Az emberiség egy olyan bolygón alakult ki, amely gazdag oxigénen és vízben, ahol a DNS-nek nevezett szénalapú molekulalánc lett minden életforma másolásának kulcsa. A mi szemszögünkbelől ügy tűnik, hogy egy olyan világban élünk, amelyben éppen megfelelőek a

hőmérséklet, a víz és a tápanyagok által biztosított feltételek az élet fejlődéséhez.

A földönkívülieket természetesen nem korlátozza a mi nézőpontunk. A Földet sem kell elhagynunk ahhoz, hogy olyan életformákkal találkozzunk, amelyek radikálisan eltérnek a mi általános tapasztalatuktól. Az extremofil élőlények olyan fajok, amelyek olyan helyeken is képesek életben maradni, ahol az emberek és más normális életformák gyorsan elpusztulnának. Ezekre az egysejtű élőlényekre az óceán fenekén bugyogó, forró vizű kürtők környékén, illetve olyan helyeken találhatunk rá, ami jóval a víz fagyáspontja alatt van. Egyes itt élő lények testének elülső része akár 200 °C-kal melegebb, mint a hátulsó.

„A magunk naiv és szűk látókörű módján ezeket a lényeket extrémfileknak neveztük el, ami arra az előítélekre utal, hogy mi normális vagyunk, minden más extrém - állítja Stewart. - A forró vízben élő organizmusok nézőpontjából viszont mi vagyunk különlegesek, hiszen jóval eltérőbb körülmények között élünk, mint ők. Mi legalább annyira vagyunk extrémek hozzájuk képest, mint ők hozzáink képest. Ugyanez a helyzet a rendkívül hideg vízben élő társaikkal.”

Stewart ezt az antropocentrikus hozzáállást - miszerint bármi, ami nekünk jó, megfelelő kell, hogy legyen mások számára is - Aranyhajtévedésnek nevezte el. Stewart szerint az eredeti mesével az a gond, hogy bár Aranyhajnak éppen a medvebocs vacsorája volt a legmegfelelőbb, ugyanakkor az apamedvének tökéletesen megfelelt a saját forró étele, az anyamedvének pedig a hideg kása ízlett. A házikót övező erdő lakóról nem is beszélve, akik valószínűleg egyáltalán nem is szerették a kását.

A földi élet a vízben és a szárazföldön fejlődött ki, de egy óriási gázbolgón talán magasan a légkörben alakulna ki, és a körülötte gomolygó gázból szerezné meg a szükséges tápanyagokat. „A legtöbb földönkívülinek esze ágában sem lenne ellátogatni a Földre, mint ahogy minket sem érdekelne különösebben, hogy egy neutroncsillag felszí-

nén kószáljunk, vagy egyes extremofilekhez hasonlóan forró, bugyogó vízben éljünk" - írta Stewart és Cohen a *Nature* hasábjain.

Még ilyen sokféleség láttán is tovább találghatunk, vajon hogyan néznének ki a földönkívüliek. Stewart szerint első lépésként érdemes különválasztani azokat a biológiai jellemzőket, amelyek a galaxisban mindenütt egyetemesen érvényesek lehetnek, és azokat, amelyek kizárával a földi életre jellemzők.

A helyi jellegzetességek közé tartozik minden, ami kizárálag egyetlen fajra jellemző, mint például az emberi kézen található öt ujj. Nincs különösebb oka, hogy nem négy vagy hat ujjal rendelkezünk. A látás szerve ezzel szemben több mint negyvenféle módon alakult ki a különböző, egymással rokonságban sem lévő élőlényeknél.

Egy olyan szerv, amely a látást teszi lehetővé, illetve a végtagok, amelyek a helyváltoztatást segítik elő, mindenkorban univerzális tulajdonságok. „A végtagok a különböző fajok esetében más és más módon alakultak ki - a polipoknak például csápjaik vannak -, amelyek ugyanazt a funkciót látják el, mégis nagyon más a szerkezetük." A DNS valószínűleg csak a földi életre jellemző, de a fajok természetes szelekció keresztsüli evolúciója majdnem biztosan egyetemes jellegzetesség.

Mi a helyzet az intelligenciával? Ez sem ismeretlen itt a Földön, és szintén rengeteg eltérő fajtája alakult ki. Sok intelligens állat él a bolygókon - a polipok, delfinek és bálnák mind nagyon okosak. Még a sásrákok is meglepően jól oldanak meg feladványokat, ha az élelem meg-szerzése a téma.

Az intelligencia azonban önmagában még nem lenne elegendő a más bolygókon élő idegen lények felfedezéséhez. Ehhez a tömegek együttműködés, illetve a technológiák kifejlesztésének képességére van szükség. „Nem az emberi intelligencia az, ami lehetővé teszi számunkra, hogy más bolygókon élőkkel teremtsünk kapcsolatot, hanem az a képességünk, hogy bárki okos ötleteit olyan formában vagyunk

képesek eltárolni, amelyhez a többi egyed is hozzáférhet és felhasználhatja" - állítja Stewart.

A ma embere semmivel sem okosabb a több ezer, talán több száz-ezer évvel ezelőtt élt generációk egyedeinél. De kultúránk képes lét-

SETI-BECSLÉSEK

**a galaxisunkban
kapcsolatteremtés 30 éven belül**

rehozni azokat a dolgokat, amelyeket akár száz évvel ezelőtt is elköpzelhetetlennek tartottunk.

A Stewart által csak extelligence-
ciának nevezett közös tudás a
beszéd és az írás megjelenésével

alakult ki, ezután a nyomtatás feltalálásával gyarapodott tovább, és vé-
gül az internet előretörésével kapott újabb lendületet.

Amikor egy faj extelligence lesz, sok minden lehetővé válik a számára - talán még a biológián is képes túllépni. „Amikor az intelligens életformákról beszélünk, számonra nagyon lényegesek az időkeretek” - mondja Seth Shostak, a SETI vezető csillagásza. Az emberiség a kommunikációs célokra felhasznált rádióhullámuktól az ūrsíklók fellövésséig kevesebb mint 70 év alatt jutott el; 100 éven belül talán már a mesterséges intelligencia problémáját is meg fogjuk oldani. „Az intelligens biológia meglehetősen gyorsan képes lesz majd megalkotni önmaga utódját, ha már a bolygóközi kommunikációról és utazásról beszélünk. Hiszen sikerült behatolnunk a nyakunkon, a koponyánk belsejében ülő másfél kilós agyunk belsejébe is.”

Mivel a földönkívüliek nagy valószínűséggel nagyon is eltérnek minden eddigi tapasztalatuktól, egy esetleges kapcsolatfelvétel esetén a találgtatások motivációjukról és szándékaikról a legjobb esetben is olyanok, mint a vaksötétkéssel készel hadonászni. Paul Davies fizikus szerint a földönkívüliek agya, teljesen más felépítésük miatt, kétségtelenül a miénktől igencsak eltérő módon értelmezné az információkat. Amit mi kedvesnek vagy barátságosnak gondolunk, számukra talán éppen erőszakosnak tűnhet, és viszont.

„Sokan feltételezik, hogy a tudásuk és fejlettségük békés szándékokat eredményezne - állítja Stewart. - Szerintem ez nem szükségszerűen van így. Nem gondolom, hogy emberi nézőponttal ruházhatók fel, és ez a gondolkodás sok veszélyt hordoz magában. A földönkívüliek idegenek. Ha egyáltalán léteznek, nem feltételezhető róluk, hogy éppen olyanok, mint mi.”

Mik az esélyei egy ilyen találkozásnak?

A SETI atya, Frank Drake meglátása szerint az első földönkívüli jelzéseket talán csak 30 év múlva fogjuk észlelni, hála az egyre növekvő számítógépes teljesítménynek, és hogy egyre több csillagra vonatkozó egyre nagyobb adatmennyiséget vagyunk képesek egyre gyorsabban feldolgozni. Egy 2011-es *Scientific American*-interjúban a galaxisunkban jelenleg észlelhető civilizációk számát közel 10 ezerre becsltte. Csak idő kérdése, hogy mikor bukkanunk rá ezek egyikére.

A földi teleszkópek következő generációi ugyancsak támogatni fogják ezt a keresést, ilyen például a tervezett Európai Extrém Nagy Távcső (European Extremely Large Telescope, E-ELT). Ez 2030-ra készülhet el, és akkora teljesítményű lesz, hogy távoli bolygók légkörét is képes lesz megfigyelni, életre utaló kémiai jelzések nyomai után kutatva.

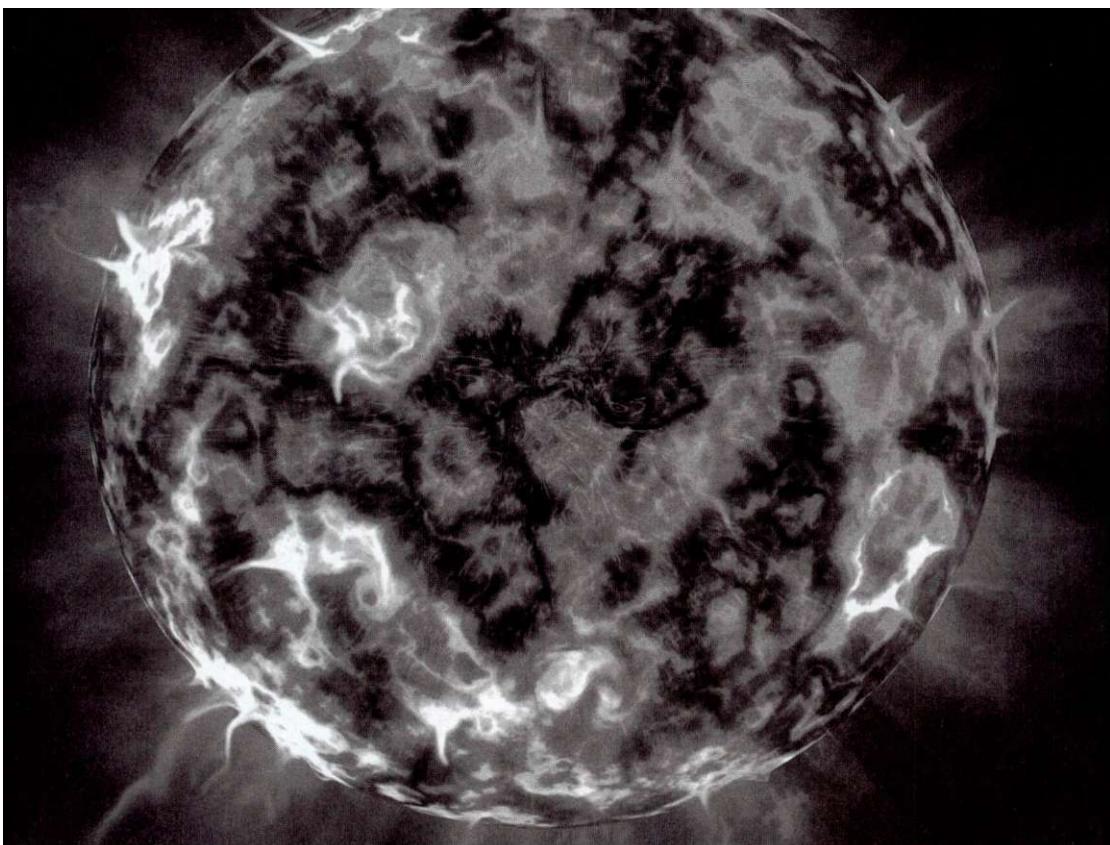
A SETI intézetet is tovább fejlesztik, és folytatódik az Allén Rádioteleszkóp Park (Allén Telescope Array, ATA) megépítése. Amikor az összesen 300 rádióteleszkóp mindegyike az eget fogja párosztázni, akkor akár 1000 csillagrendszer megfigyelésére is lehetőség nyílhat pár év leforgása alatt. Shostak bízik benne, hogy a távcső-technológiák fejlődésével a SETI rá fog találni az ET-től jövő jelzésre az elkövetkező két évtizeden belül. „A dolog lényege az, hogy két tucat év alatt újabb millió csillagrendszeret tudunk majd megvizsgálni. Ezt a keresést egyszer siker koronázza, ami minden bizonnal hamarosan meg fog történni.”

Arra a kérdésre, hogy aggódik-e Hawking ellenséges földönkívüliekre utaló figyelmeztetése miatt, Shostak azt felelte: „Mindez alaptalan félelem. Ha valóban csak a megszerezhető nyersanyagok érdeklik őket, bőven van lehetőségük erre alkalmas bolygókat találniuk anélkül, hogy a mi rádióhullámaink segítségére szorulnának. Már évmilliárdokkal hamarabb is ránk találhattak volna.”

Minden esetre Shostak szerint, ha valóban aggódunk amiatt, hogy túl nagy lármát csapunk a világűrben a rádióhullámokkal, akkor az első dolgunk az kellene hogy legyen, hogy lekapcsoljuk a BBC, az NBC, a CBS adásait és az összes radart a repülőtereken. Ezek évek óta ontják az adást a világűrbe, és a legkorábbi már több mint 80 fényévre van a Földtől. Ha attól tartunk, hogy magunkra vonjuk az erre járó idegenek figyelmét, túl késő már megakadályozni, hogy végignézzék a „Big Brother” vagy a „Jerry Springer Show” összes részét. Nehéz kitalálni, hogy ezek a műsorok vajon érdeklődést vagy utálatot váltanának-e ki egy idegen fajból.

Éltető energiánk forrása, a Nap mindig is fent volt az égen. Fényivel árasztja el a bolygónkat, életet ad, serkenti a növények növekedését és ezzel biztosítja a világ körforgását. Egy nap azonban ugyanez a csillag fel is robbantja majd a Földet.

A Nap halála



elenleg a Nap életének legszerencsesebb középső szakaszában élünk, amikor finom sárga fénye éppen elegendő meleget ad ahhoz, hogy óceánjaink a megfelelő halmazállapotúak legyenek, és éppen anyagi sugárzás éri el a Föld felszínét, amennyi a növények és állatok életben maradásához kell.

5 milliárd évvel e kellemes középső korszakának elmúltával a Nap egyre nagyobb és forróbb lesz, elnyeli a Merkúrt és a Vénuszt, és leírhatlan károkat okozva lassan elindul a haldoklás útján. Mi, itt a Földön közvetlen közelről nézzük majd végig a Nap haláltusát, és jóval azután, hogy minden földi élet megszűnt létezni, bolygónk maradéka is a pusztulás martalékává lesz.

A csillagok életciklusa

A Nap helyén keletkezését megelőzően csak egy hatalmas, kavargó por- és gázfelhő volt. Az évmilliók során hidrogénatomjai a gravitációs vonzás hatására egyre közelebb kerültek egymáshoz, aminek következtében a felhő elkezdett felmelegedni. Amikor a hőmérséklete elérte a 10 millió K-t, beindult a hidrogénatomok fúziója és a csillag fényleni kezdett. A Nap életciklusa ezzel a hidrogénfúzióval vette kezdetét, és a teljes élettartamának 90%-át így is fogja tölteni. Jelenleg nagyjából a fele telt el annak a 10 milliárd évnek, amely során normális esetben egy ekkora méretű csillag az összes hidrogénjét elégeti.

Kb. 5 milliárd év múlva elfogynak a Nap elégethető hidrogénkészletei, amelyek addigra már teljes mértékben héliummá fuzionáltak. Ezen a ponton a csillag magja többé nem lesz képes megtartani önmagát, és elkezd összezuhanni. A zsugorodással egy időben emelkedni kezd a hőmérséklete, míg végül az egyre kisebb mag körüli héj annyira felforrósodik, hogy az ott található hidrogénatomok fúziója is beindul. E fo-

lyamat eredményeképpen a Nap külső rétegei a jelenlegi átmérőjének több tízszeresére tágulnak. Mivel a felszíne eddigre nagyon messze került a központi magtól, ezért lehűl kb. 3500 K-re, azaz a csillag jelenlegi hőmérsékletének nagyjából a felére, és elkezd vörösen fényleni.

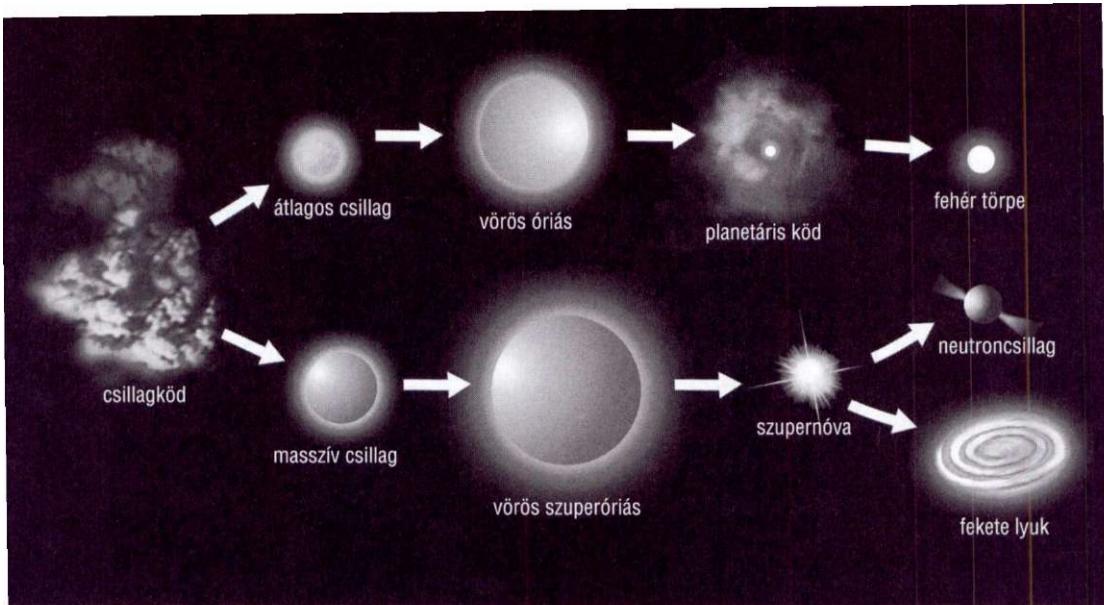
Ezalatt a héliummag tovább zsugorodik, és amikor hőmérséklete eléri a 100 millió K-t, a héliumatomok elkezdenek szénné és oxigénné fuzionálni. A csillag külső felszíne ismét felforrósodik, ekkor kék és fehér fényt fog kibocsátani.

Amikor elfogy a hélium is, és a magot teljes egészében szén- és oxigénatomok alkotják, a csillag ismét elkezd töpörödni és felmelegedni. A magot körülvevő héliumhéj fúziója ismét beindul, és a csillag átmérőjének megint több százszorosára nő meg. Ebben a szakaszban ún. aszimptotikus óriásági (Asymptotic Giant Branch, AGB) csillagnak nevezik. Kb. 30 millió év elteltével a maradék mag ismét zsugorodni és forrósodni kezd.

Egy Nap méretű csillag magja azonban soha nem tud annyira felforrósodni, hogy beinduljon benne a szén- és oxigénatomok fúziója. Ehelyett a csillag külső rétegei hűlni kezdenek egészen addig, amíg el nem érik azt a hőmérsékletet, amelyen az elektronok már képesek kötésekkel alkotni a szabadon lebegő atommagokkal, semleges töltésű atomokat hozva létre. A rá következő viszonylag rövid, 100 ezer éves periódus alatt a csillagról fokozatosan lelöködik a külső burok, amely a jövőben létrejövő bolygók alapanyagául szolgáló szenet, oxigént, neont, ként, nátriumot, argont és klórt tartalmazza.

A kisebb tömegű csillagok pusztulása során visszamaradó ún. planetáris köd az egyik leggyönyörűbb jelenség a világűrben: a központi

Mi, itt a Földön közvetlen közelről nézzük majd végig a Nap haláltusóját, és jóval azután, hogy minden földi élet megszűnt létezni, bolygónk maradéka is a pusztulás martalékává lesz.



A csillagok, eredeti tömegüktől függően, eltérő módon fejlődnek az életük során. A legnagyobb csillagok világítanak a legfényesebben és a legrövidebb ideig, míg végül fekete lyakká zuhannak össze. A Naphoz hasonló, kisebb csillagok apró méretű, de rendkívül nagy sűrűségű fehér törpéként végzik.

csillag forró magja belülről megvilágítja az őt körülvevő gázfelhőket, amelyek élénken fluoreszkáló színekben pompálnak az űr végtelen sötétjében. A tudósok annyira megszerették, hogy különböző neveket adtak nekik, többek között így kapta a nevét a Macskaszem-, a Kék Hó-golyó-, az Eszkimó- és a Hangya-kód, hogy csak a Hubble-űrtávcső által készített legnépszerűbb felvételeket említsük.

A csillag magja ezalatt újabb néhány ezer éven át folytatja az összehúzódást egészen addig, amíg az elektronok el nem érik azt a degenerált állapotot, amit már nem lehet jobban összenyomni. Ezen a ponton a maradványcsillag felszíni hőmérséklete nagyjából 10 ezer K, az égitest pedig átalakul fehér törpévé. Ennek a tömege nagyjából a Nap tömegének a felét teszi ki, ami azonban egy Föld nagyságú forró (1 millió K hőmérsékletű) gömbbé nyomódik össze. Ebből az anyagból egy teáskanálnyi mennyiség súlya a Földön 1 tonna lenne.

Az évmilliárdok során ez a fehér törpe energiát ad ki és fokozatosan lehűl. Végül, amikor már nem képes több fényt kibocsátani, minden, ami a Napból maradt, egy kupac hamuvá válik, amit fekete törpének nevezünk.

Mi lesz a Föld sorsa?

A Napra váró hatalmas változások nem tűi kellemes kilátásokkal kicsegyentik bolygónkat sem. Még ha a Föld egyben is maradna központi egítetünk első hirtelen felfúvódását követően, semmi esélye annak, hogy bármelyik élő organizmus túlélje azt. Ha esetleg valaminek mégis sikerülne életben maradnia, hideg, sötét és kopár világban találná magát, ahol még víz sem maradt. Valószínűleg azonban hamarosan elpusztulna.

„A planetáris ködök betekintést nyújtanak saját Naprendszerünk jövőjébe - mondja Bruce Balick, a Washingtoni Egyetem csillagásza. - Amikor a Nap eléri életének tizenegyedik óráját, hirtelen a Föld jelenlegi keringési pályájáig terjedő méretűre fog felfúvódni, aminek következetében a Merkúr és a Vénusz hatalmas meteorként ég majd el. A Földet azért fogja elkerülni ez a sors, mert miután a Nap tömegének egy részét kilövellte az űrbe, kissé meggyengül a gravitációs ereje, ami től bolygónk új, távolabbi keringési pályán folytatja útját.”

A Merkúrból és a Vénuszról visszamaradt darabok a vörös óriás belséjében fognak tovább keringeni a Nap körül. Ha életben maradunk, a Földön órákig szemlélhetjük majd a napfelkeltéket és naplementéket, délben pedig a hatalmasan vöröslő Nap az égbolt felét betölti. Az óceánok és a légkör rövid időn belül egyszerűen elpárolog a világűrbe. „A látvány nem sokban fog különbözni attól, amit egy kemence belséjében látnánk - mondja Balick. - Az intenzív sugárzó hő hatására a

felszín vastag kicserepedett agyagréteggé alakul át." Összességében a pokol bibliai ábrázolásaira fog emlékeztetni.

Balick képes volt meglátni e meglehetősen nyomasztó helyzet jó oldalát is: a Föld, több millió évvel a vörös óriás kialakulását követően, belülről végigkísérheti egy planetáris köd képződését. „A Nap a jelenlegi napszélhez hasonlóan, de annál jóval nagyobb erővel fogja lelöki magáról a külső rétegeit - állítja Balick. - Végül a vörös behemótból nem marad más, csak a magja, amely gyorsan megnyugszik és átalakul fehér törpévé. E kék színű, forró maradványcsillag fényében a földi tárgyak éles, koromsötét árnyékot fognak vetni, a napfelkelték és a naplementék egy szempillantás alatt mennek végre. A szabadon álló sziklák plazmaállapotúvá válnak, mivel a törpe által kibocsátott UV sugárzás minden molekuláris kötést felbont. A felszínt állandó, kísértetiesen gomolygó színes köd fogja ellepni. Ahogy a törpe minden energiájától megszabadul, hideg és sötét salakká alakul át és elhalványodik. így világunk először tűzben, majd jégen fog odaveszni."

A fehér törpe úgy jelenne meg a földi égbolton, mint rendkívül intenzív fényforrás, amely százszor fényesebb a jelenlegi Napunknál, viszont nem nagyobb a Vénusznál. Az ebből a csillagból érkező fény sugár kiégetné a Föld körzeteit, szétszakítaná a felszíni molekulákat, aminek következtében szabad elektronokból álló, újfajta légkör jönne létre.

Mit tehetünk?

Úgy tűnik, nem sokat tehetünk egy effajta elkerülhetetlen kozmikus esemény ellen. 2001-ben azonban a Michigani Egyetem kutatói előhozakodtak egy olyan globálisan megvalósítható projekt ötletével, amely lényege, ha valahogy elő tudnánk idézni aszteroidák és üstökösök Föld közelére elhaladását, akkor ezzel apránként módosíthatnánk a keringési pályát. Ezeknek az égitesteknek a gravitációs vonzása a Nap körüli,

fokozatosan egyre magasabb pályára kényszerítené a Földet, így évmilliárdok alatt elegendő távolságra kerülne a jelenlegi pozíciójától ahhoz, hogy megmeneküljünk a Nap vörösoriás-fázisának legszörnyűbb pusztításától. Veszélyes elképzelés minden, hiszen több ezer, sőt millió hatalmas űrbéli szikladarabbal kellene éppen csak elkerülnünk egymást ahhoz, hogy ezek módosítsák a keringési pályánkat. A mérnököknek pedig gondoskodniuk kellene arról, hogy egyik kő se találja el a Földet, hiszen akkor egészen másfajta vég érné el az emberiséget (*lásd* 213. o.). Ha ez a módszer mégis működne, akkor is csak rövid időre mentené meg a Földet, mielőtt a Nap végképp elenyészne a semmibe.

Ezek szerint a legjobb lehetőség még mindig az, ha elhagyjuk a Földet és gyarmatosítunk egy másik, nagyon távoli bolygót. minden bizonnal marad még elég időnk arra, hogy feltaláljuk, leteszteljük és megépítsük az ehhez szükséges technológiát. Arra is bőven lesz még időnk, hogy beazonosítsuk és elérjük a fénysebességnél lassabban megközelíthető legközelebbi bolygókat, bár elképzelhető, hogy még ezeket is csak több generáció át tartó ūrutazást követően érnénk el. Talán tűi erőltetettnek hangzik ez az érvelés, de az egyik elkerülhetetlen dolog a termézzettel kapcsolatban az, hogy még a csillagok, és velük együtt a bolygóik számára is eljön egyszer a vég. Akár tetszik, akár nem, nem maradhatunk örökkel itt, a Földön.

A kozmikus mozgások szinte felfoghatatlanul hatalmas léptékűnek tűnnek számunkra, így nem tehetünk másat, mint megfigyeljük őket és átadjuk magunkat a hatásainak. A Nap bolygókat is bekebelező felfúvódása az egyik olyan esemény, amely döntő szerepet fog játszani az emberiség történetében. Kb. ezzel egy időben fog bekövetkezni egy másik jelenség, ami még ennél is végzete sebben hangzik: galaxisunk frontális ütközése egy másik csillagrendszerrel

Galaktikus ütközés

Nagy Bumm óta folyamatosan táguló tér és univerzum hatására szinte kizárálag tőlünk távolodó galaxisokat figyelhetünk meg az égen, egy kivétellel: az M31 vagy Androméda néven is ismert galaxis éppen hogy felénk tart. A jelenlegi 120 km/s sebességgel valamikor az elkövetkező 5 milliárd év során fogja elérni a Tejútrendszeret. Ha sikerről addig életben maradnunk, ez a kozmikus ütközés mindenkiéppen a pusztulásunkat fogja okozni.

Szomszédos galaxisok

A Tejútrendszer néhány tucatnyi galaxis laza csoportosulásának a része, amelyet Lokális galaxiscoportnak vagy Lokális csoportnak nevezünk. Elsőre talán különösnek tűnhet csoportosulásnak nevezni ezeket, hiszen maguk a galaxisok saját átmérőjük százszorosával megegyező távolságra is lehetnek egymástól, mégis gravitációs hatást fejtenek ki, és ide-oda taszigálják egymást a végtelen űrben. A csillagrendszerek lassan közelítik meg és hagyják el egymás pályáját, és egy tipikus galaxis teljes életciklusa alatt - amely becslések szerint 10 milliárdtól 20 milliárd évig tarthat - elkerülhetetlenek az ütközések.

A mi Lokális csoportunkban a Tejútrendszer és az Androméda a két legnagyobb galaxis: a Nap tömegének kb. 270 milliárdszorosával megegyező az össztömegük. A tőlünk jelenleg 2,5 millió fényévre kavargó, több milliárd csillagból álló Androméda valamivel kisebb méretű.

20 ével előtt még a csillagászoknak is kétségeik voltak afelől, hogy a közöttük elterülő hatalmas űr ellenere letrajohetnek-e galaktikus ütközések. Az egyre kitinomultabban megfigyelő rendszerek és a galaxisok mozgását szimuláló számítógépes modellek fejlődése segített feltárni, hogy az effajta ütközések nemcsak hogy lehetségesek,

Ezek az utkozesek elkezelhetetlenül hosszú idot vesznek majd igénybe.

de valószínűleg sokkal gyakoribbak, mint bárki gondolta volna. Joshua Barnes, Lars Hernquist és Francois Schweizer csillagászok szerint a rendelkezésre álló bizonyítékok arra utalnak, hogy az összeütköző galaxisok gyakran egy újfajta égitestet hoznak létre. „Egyre nagyobb meggyőződéssel állíthatjuk, hogy az ilyen ütközések szabályozzák sok galaxis fejlődését, és egy sor különös égitest kialakulásához vezetnek, amelyek például a távoli és rendkívül fényes kvazárok is.”

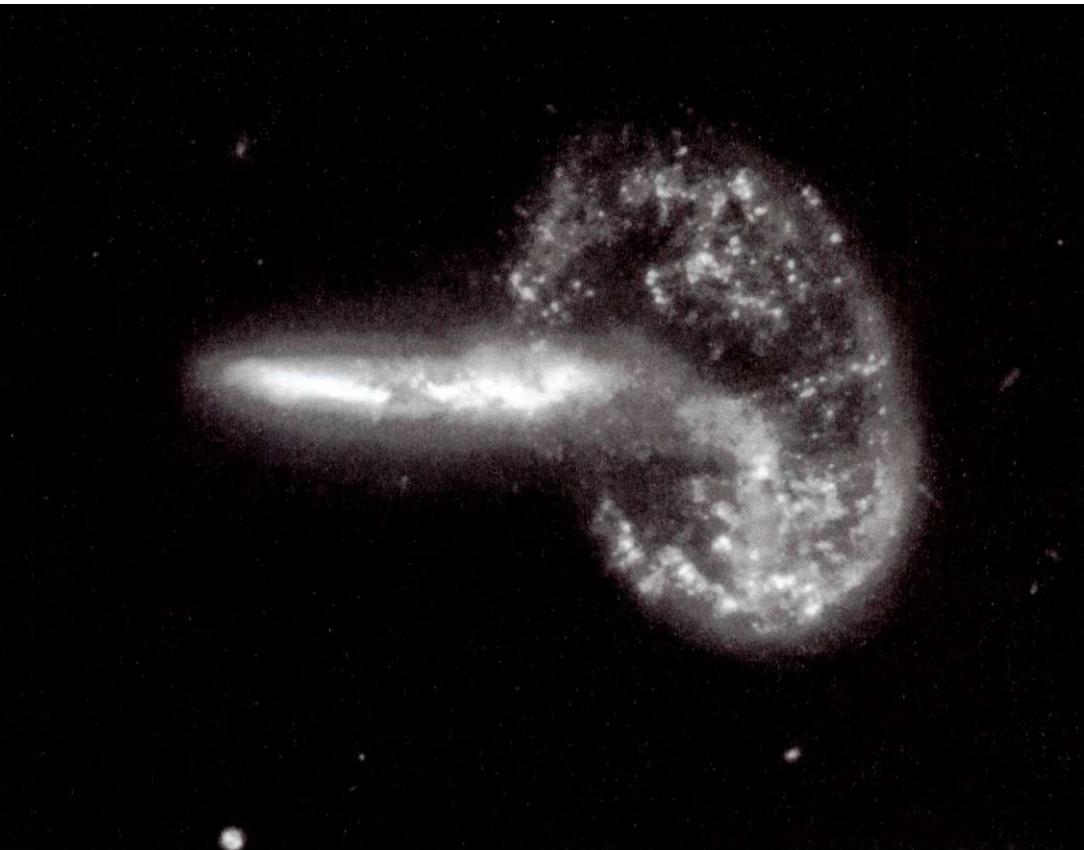
Mennyire vagyunk egy ilyen ütközéstől? Mi történne?

Még a leghevesebb ütközés esetén is valószínűtlen, hogy maguk a csillagok is eltalálják egymást, hiszen olyan hatalmas a köztük tátongó űr. Úgy tudjuk, hogy sok óriási galaktikus halmazban a galaxispárok nagy sebességgel - másodpercenként több ezer kilométerrel - közelítik meg, majd haladnak keresztül egymáson úgy, hogy közben látszólag semmiféle kárt nem tesznek egymásban. „Különös módon, ha ugyanezek a galaxisok csak alig pár száz km/s sebességgel haladnának, heves ütközések kíséretében néhány százmillió év alatt valószínűleg fo-

kozatosan egybeolvadnának - állítja Barnes, Hernquist és Schweizer a *Scientific American* egyik cikkében. - Az ilyen látszólag paradox viselkedés azt bizonyítja, hogy a galaktikus kölcsönhatásokat szintén a gravitációs erők

irányítják. Minél lassabban halad egymás felé két galaxis, annál több idő áll rendelkezésre ahhoz, hogy a gravitáció hatására hatalmas, romboló hullámok keletkezzenek és annál nagyobb a pusztítás mértéke.”

Mindez azonban nem jelenti azt, hogy a galaxisokat alkotó égitestek szintén érintetlenek maradnak a galaktikus ütközés során. Ahhoz hasonlóan, ahogy a Föld óceánjaira is hat a Hold vonzása, és létrejön az



Ez a képződmény egy megnyúlt (balra) és egy kör alakú galaxis (jobbra) összeütközésének az eredménye. Ezt a képet a Hubble-űrtávcső készítette a Földtől 500 millió fényévre található galaxisokról, amelyek a Nagymedve csillagképen belül helyezkednek el.

árapály, az egymáson keresztülhaladó galaxisok is gravitációs vonzást fejtenek ki egymásra.

„A galaxisok közötti árapály-eső sokkal rombolóbb, mint a Föld tengereinek árapályváltozásai, hiszen a galaxisok közötti távolság méretükhez képest sokkal kisebb, mint a Hold távolsága a Föld méretéhez képest - mondja Barnes, Hernquist és Schweizer. - Amennyiben a Hold fele akkora távolságra kerülne a Föld körül, mint jelenleg, ak-

kor az általa kifejtett gravitációs erő a négysszeresére nőne, mivel a gravitáció fordítottan arányos a távolság négyzetével. A Föld Hold felőli, és a túlsó oldalán érzékelhető, az árapályt valójában meghatározó erők közötti különbség viszont a nyolcszorosára nőne, mivel az árapályerők fordítottan arányosak a távolság köbével. Ha elég közel haladnak el egymás mellett, a galaxispárokban ható árapályerők elég hatalmasak lehetnek ahhoz, hogy minden kettőt darabokra szedjék."

Az Androméda és a Tejútrendszer összeütközésének folyamata valószínűleg több fázisból fog állni. Mielőtt nagyjából 5 milliárd év múlva teljesen egybeolvadnának, a galaxisok többször is elhaladnak majd egymás mellett, miközben érintőlegesen össze is ütköznek. Ez először kb. 2 milliárd év múlva következik be, és nem lehetetlen, hogy ennek során a Naprendszerünk is el fogja hagyni a Tejútrendszt, annak az anyaghalmaznak a részeként, amelyet az Androméda árapályereje szakít ki a galaxisunkból.

Az Androméda pár milliárd év múlva ismét vissza fog térni, hogy minden megismétlődjön. Még jó néhány ehhez hasonló ütközés és sok milliárd év elteltével a két galaxis végül egy közös gravitációs központ körül keringő hatalmas csillaghalmazt alkotva megállapodik. Ez az egyesült égitest egy hatalmas, ellipszis alakú galaxis lesz a Tejútrendszer általunk ismert spirálkarjai nélkül.

A galaxisok találkozásakor felszabaduló hatalmas energiák lökész-hullámokat keltenek, amelyek keresztsülváguldanak a csillagok közötti ūrben lebegő hatalmas por- és gázfelhőkön. minden egyes ütközés következtében a felhőkben található hidrogén annyira összenyomódik, hogy beindul a fúziós folyamat, így valahányszor két galaxis megközeleíti egymást, az rengeteg új csillag születéséhez vezethet.

Ezek az ütközések elképzelhetetlenül hosszú időt vesznek majd igénybe. Mire a két galaxis több mint 7 milliárd év múlva megállapodik, a Földnek lesz elég baja az óriásira felfúvódó és a szomszédos bolygóit elnyelő Nappal. Feltéve, hogy az emberi faj még valamilyen formában

létezni fog, hogy szemtanúja legyen az új megagalaxis születésének, vajon mi lesz a sorsa Naprendszerünknek?

A Harvard-Smithsonian Asztrofizikai Központ (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) tudósai által készített számítógépes szimuláció szerint a Nap megőrzi majd a megmaradt bolygóit, de elég nagy a valószínűsége annak, hogy az egész Naprendszer el fog távolodni az újonnan létrejött, egyesült galaxis közepétől. Jelenleg 26 ezer fényév távolságra vagyunk a Tejútrendszer középpontjától, addigra viszont nagyjából 100 ezer fényévre kerülünk attól a kettős fekete lyuktól, amely az eredeti galaxisok középpontjainak helyén fog kialakulni.

Minél lassabban halad egymás felé két galaxis, annál több idő áll rendelkezésre ahhoz, hogy a gravitáció hatására hatalmas, romboló hullámok keletkezzenek és annál nagyobb a pusztítás mértéke.

Mit tehetünk? Mennyi a valószínűsége ennek az ütközésnek?

Még a gondolata is elég nevetséges, hogy vajon tehetünk-e bármit is egy ilyen nagyságrendű esemény ellen, amely ráadásul ennyire a távoli jövőben fog bekövetkezni. Ha valaki mégis reménykedni szeretne, annak elárulom, hogy a csillagászok még nem állítják biztosan, hogy ez az ütközés feltétlenül bekövetkezik.

Afelől semmi kétség, hogy az Androméda és a Tejútrendszer egy más felé tart. Az is tény, hogy valamikor a jövőben annyira közel kerülnek egymáshoz, hogy kölcsönös gravitációs vonzásuk hatni fog a galaxisokban található égitestekre és alakzatokra. Arról azonban semmi biztosat nem tudunk, hogy ez a találkozás a két galaxis között hogyan fog végbenni.

A bizonytalanság abból ered, hogy a csillagászoknak vannak még tisztázandó kérdéseiik az Androméda sebességével kapcsolatban.

hagyni

Válogatjában jelenleg fogalmunk sincs, hogy az Androméda telibe találna-e bennünket vagy éppen csak meglegyintene, és csak a galaxisok külső peremei (vagy az ezeket körülvevő sötét anyagok) kerülnének egymással kapcsolatba.

Bárhogy is lesz, bízzunk benne, hogy leszármazottaink valamilyen nagyon távoli, biztonságos helyről fogják mindezt végignézni.

A jó öreg idő. Mindennapi életünk'karme6t^Vé;aKi;l5ízto,sít-ja a megfelelő kereteket ahhoz, hogy elvégézhes^jüifeá'röii szeretnénk. Mindig is a rendelkezésünkre fog állni; igáz?' Nos, ez óriási tévedés. Egyes elméletek szerint valamikor a jövőben eljön az a pillanat, ami „után" már semmi sem lesz

Az idő vége

Ibert Einstein meg volt győződve arról, hogy az idő csak egy része a jóval tágabban értelmezett, ún. tér-idő kontinuumnak, de a többség számára továbbra is ugyanazt jelenti: ketyegő órákat, váltakozó évszakokat és felnövekvő gyerekeket. Mi és a világunk az enyészeté lehet, de a világegyetem attól még fennmarad és semmi nem ér véget.

A fizikusok azonban nem érték be ennyivel. Az elmúlt évszázad során a tudósok vizsgálni kezdték, hogy mi is az idő valójában, és hogyan illeszkedik a világegyetem tudományos magyarázatába. A legvadabb elképzélésekkel álltak elő: egyesek szerint az idő talán nem is létezik; mások amellett érvelnek, hogy ha létezik is, lassan szívárog az univerzumból. A világegyetem szempontjából igen sajnálatos módon, rémisztően valóságosnak tűnik az idő megszűnésének lehetősége.

Mi az idő?

Nagyjából olyan érzés megpróbálni definiálni az időt, mintha arra kellene válaszolnunk, hogy mi a levegő: olyan velejárója a világnak, ami egyszerűen csak van, és ha nem lenne, nos, az élet sem menne tovább. A fizikusok és filozófusok azonban nem szokták annyiban hagyni az ilyen kérdéseket. Vajon az idő csak az események felcímkezésére szolgáló eszköz, hogy tudjuk, mi milyen sorrendben és mennyi idő elteltével történt? Vagy a térhez hasonlóan valóban létezik egy „dolog”, amit másodpercekben és órákban lehet mérni? Attól függetlenül, hogy bármit tudnánk róla, ez a dolog mégis folyamatosan ott ketyeg a háttérben.

Az a tapasztalatunk az idővel kapcsolatban, hogy egyik pillanatról a másikra halad valamerre. Egy olyan jelenben élünk, amely folyamatosan araszol előre, a megtörtént események pedig múlttá, emlékekké válnak. „Van egy olyan mélyről fakadó megérzésünk, hogy a jövő egészén addig a pillanatig nyitott marad, míg jelenné nem válik, a múlt

pedig már nem változtatható meg. Az idő teltével ez a lezárt múltból, pillanatnyi jelenből és nyitott jövőből álló struktúra is halad előre az időben, és a nyelvünkbe, a gondolkodásunkba és a viselkedésünkbe is mélyen beépült. Sőt ettől függ, hogyan éljük az életünket" - magyarázza Craig Callender, a San Diegó-i Kaliforniai Egyetem filozófusa.

Ennek a magától értetődő gondolatmenetnek azonban nincs tudományos megfelelője. „A fizikai egyenletek semmit sem mondanak arról, hogy éppen most milyen események mennek végbe: olyanok, akár egy térkép az »Ön most itt áll« jelzés nélkül - mondja Callender. - A jelen pillanat nem szerepel bennük, ennél fogva az idő múlása sem. Ráadásul Albert Einstein relativitáselméletei nemcsak azt sugallják, hogy nem létezik egyetlen kiemelt jelen sem, hanem azt is, hogy minden pillanat egyformán valóságos. A jövő alapvetően semmivel sem nyitottabb, mint a múlt."

Isaac Newton idejében még úgy tűnt, hogy a világégyetemnek szerves része egy óra, amely különböző szeletekre, például másodpercekre, percekre, órákra osztja a világgal kapcsolatos tapasztalatainkat. Ezen időpillanatok alatt pedig a dolgok megtörténnék. A XIX. század közepe-től azonban a tudósok tisztában vannak vele, hogy a tudományos törvénysszerűségeknek nincs szükségük ezekre az időszegmensekre, hogy bármilyen irányba hatni tudjanak. Más szóval, semmi olyan inherens tulajdonság nem létezik a fizikában, amely szerint az időnek „előre" kellene haladnia, és nem „hátra".

A fizikai törvények tökéletesen megállják a helyüket attól függetlenül is, hogy az idő előre vagy hátrafelé halad. A XIX. századi osztrák fizikus, Ludwig Boltzmann egészen addig ment, hogy felvetette: a múlt és jövő közötti különbség

Nem gondolhatunk általában úgy a világra, mint ami pillanatról pillanatra, egyetlen időparaméter mentén tárol fel előttünk. Szélsőséges esetekben előfordulhat, hogy a világ egyáltalán nem osztható fel időpillanatokra

nem saját belső tulajdonsága az időnek, hanem egyszerűen annak a következménye, hogy az anyag eltérő módokon rendeződött el a világ-egyetemben.

Albert Einstein speciális és általános relativitáselmélete a XX. század elején újabb szögeket vert a newtoni mechanikus világgyetem elméletének koporsójába. A speciális relativitáselmélet az időt is a teret leíró koordinátarendszer részévé tette, ezzel létrehozva egy négydimenziós téridőt, amelyben az eltérő sebességgel haladó különböző emberek eltérő mértékben érzékelik az idő múlását. Az általános relativitáselmélet szerint maga a gravitáció torzítja el az időt, így egy masszív csillag közvetlen közelében más sebességgel telik el egy másodperc, mint a világűr mélyén, ahol kisebb a gravitáció.

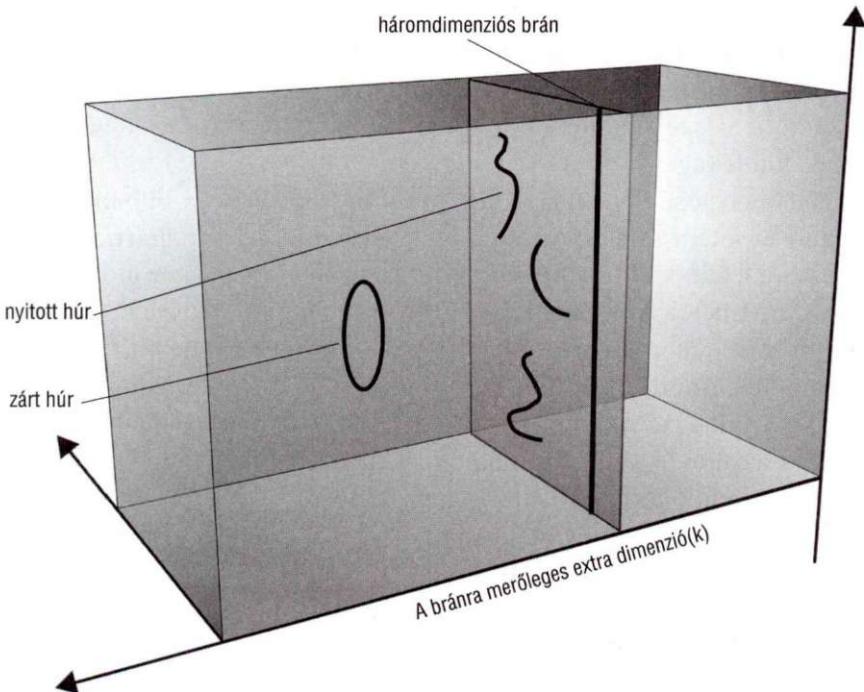
Ezek a fejlemények óriási talánnyal szembesítének bennünket. „Nem gondolhatunk általában úgy a világra, mint ami pillanatról pil- lanatra, egyetlen időparaméter mentén tárol fel előttünk - magyarázza Callender. - Szélsőséges esetekben előfordulhat, hogy a világ egyáltalán nem osztható fel időpillanatokra. Ilyenkor például képtelenség lenne meghatározni, hogy az egyik esemény a másik előtt vagy után következett-e be.”

Mindez felveti azt a kérdést, amelyen évtizedek óta rágódik sok fizikus: egyáltalán létezik-e az idő? „Egy időtlen valóság ötlete első pil-lantásra annyira meghökkentő, hogy nehéz elképzelni, mégis mi tar-taná össze, mitől lenne koherens - mondja Callender. - minden, amit teszünk, azt az időben tesszük. A világ az idő által egymás mögé fű-zött események sorozata. mindenki számára nyilvánvaló, hogy a ha-junk megőszül, a tárgyak mozognak, és így tovább... Megfigyelhetők a változások, amelyek különböző tulajdonságoknak az időtől függően megjelenő variációi. Idő nélkül a világ teljesen mozdulatlan lenne. Az időtlenség elmélete azzal a kihívással szembesít bennünket, hogy ma-gyarázatot kell találnunk arra: miért érzékeljük a változást, ha a világ egyáltalán nem változik.”

Ahol az idő véget ér

Einsteinnek a gravitáció működésére vonatkozó elmélete, az általános relativitáselmélet egy olyan dolog létezését veti fel, ami igencsak zavarba ejtő lehet azoknak, akik még mindig a newtoni időuniverzumban ragadtak: a szingularitásokét. Ezek olyan végletes sűrűségű pontjai a világűrnek, ahol az anyag rendkívüli mértékben összepréselődött, a

Az M-elmélet szerint a részecskék és az erők különböző frekvenciával rezgő energiahúrok. A húrok (a rajzon hurkok és vonalak) membránokon, ún. bránokon belül helyezkednek el. Lehetőséges, hogy mi is egy olyan brán felszínén élünk, amely egy magasabb dimenziójú térből ágyazódott be, amelyet bulknak neveznek (a képen a szürke doboz).



fizikai törvények felmondják a szolgálatot és az idő sem létezik. Ezek a gravitációs szingularitások a szupermasszív csillagok összeomlása következtében kialakult fekete lyukak középpontjában találhatók, és akkorák, mint ennek a mondatnak a végén a pont. Az itt uralkodó rendkívül erős gravitáció minden magához vonz, ami elég közel (az ún. eseményhorizonton belül) kerül hozzá, és a szingularitás közvetlen közelében az idő is megszűnik létezni. Egy ilyen szingularitás belsejében már nincs olyan, hogy utána.

Léteznek más helyek is, ahol látszólag megszűnik az idő. A világ-egyetem túlnyomó részéről csak annyit tudunk, hogy nem tölti ki semmi - az ismert anyag a teljes univerzum össztömegének csak 4%-át teszi ki, a fennmaradó rész pedig kétfelé oszlik: 23-73%-os arányban sötét anyagra és sötét energiára. Ez utóbbi (amiről senki sem tudja igazán, hogy mi is valójában) lehet felelős azért, hogy a galaxisok távolodnak egymástól, és hogy az univerzum minden gravitációs vonzás ellenére, ami az összes általunk ismert anyag és a sötét anyag között hat, mégis kifelé tágul-

2007-ben Jósé Senovilla, Marc Mars és Ráül Vera, a bilbaói Baszk Állami Egyetem és a Salamanca Egyetem munkatársai alternatív magyarázattal álltak elő a sötét energia világégyetemre gyakorolt hatására vonatkozóan. Az Amerikai Fizikai Társaság *Physical Review D* tudományos folyóiratában azt vetették fel, hogy az univerzumon belül nem egy antigravitációs erő működik, hanem az általunk észlelt jelenségek ananak a következményei, hogy az idő egyre lassul, miközben elszivárog. Mindez a minden napokban nem érzékelhető, viszont megfigyelhető a galaxisok évmilliárdokon át tartó mozgásában.

Ezek szerint a világégyetem általunk észlelt tágulása csak illúzió, és valójában az idő az, ami egyre lassul.

Ez az elképzélés a húrelméletnek arra a fogalmára vezethető vissza, amely jóval alapvetőbb szinten próbál magyarázatot adni a világégyetemre, mint a jelenlegi tudományos elképzélések. A húrelmélet szerint

minden részecske sokdimenziós energiahúrokból áll, amelyek minden egyike különböző frekvenciával rezeg. Erre épül az az elképzelés, miszerint az egész univerzum egy membránon található (ezt bránnak nevezzük), amely része több más bránnak és univerzumnak (ezt hívjuk bútiknak). „Normális esetben szabadon mozoghatunk a mi kis négydimenziós börtönünkben - írja George Musser író, Senovilla ötletét magyarázva a *Scientific American* egyik írásában. - Ha azonban valami elég erősen „ráfúj” a bránra, akkor az

egyetlen doleg, amit tehetünk, hogy próbálunk életben maradni, miközben többé mozdulni sem tudunk. A fény sebességénél is gyorsabban kellene szágulda-

nunk ahhoz, hogy a bránon belül el tudjunk mozdulni, ami viszont lehetetlen. minden folyamatnak részét képezi valamiféle mozgás, de ezek így mind abbamaradnának.”

A bránon tartózkodók nem lennének tudatában annak, hogy mi történik velük, mivel az óráik is megállnának - arról sem lenne fogalmuk, hogy az idő térré változott. „Csak annyit érzékelnénk, hogy a galaxisok és más egítestek látszólag felgyorsulnak - folytatja Musser. - Hátborzongató, de a csillagászok éppen erről számolnak be, csak többnyire valamilyen ismeretlen sötét anyag hatásának tulajdonítják. Elképzelhető, hogy ez a gyorsulás valójában az idő hattyúdala?”

Ezek szerint a világegyetem általunk észlelt tágulása c illúzió, és valójában i ami egyre lassul,

Mennyire valószínű mindez?

Bármilyen is az idő, annyit tudunk róla, hogy 13,7 milliárd évvel ezelőtt, a Nagy Bumm idején jött létre, és amikor majd egyszer véget ér a világegyetem, az idő is vele fog tűnni. Az univerzum sorsa felett elméltedő kozmológusok szerint az a legvalószínűbb, hogy minden tovább

tágul majd a végtelenséig, míg végül úgy fog elmúlni a világ, hogy az energia eloszlása annyira ritka lesz, hogy bár az idő technikai értelemben soha nem ér véget, egyszer csak értelmét fogja veszíteni. Az ún. hőhalálelmélet szerint minden a teljes kiegyenlítettség állapotába kerül, és minden művelet vagy kölcsönhatás gyorsan véget ér egy ellenkező irányú folyamat hatására.

„A fizikusok mindenkit elméletet elfogadhatónak tartják - állítja Musser. - Egyesek szerint az idő egyszer véget fog érni. Ezzel az állásponttal csak az a probléma, hogy az ismert fizikai törvények mind az időn belül működnek, és azt írják le, hogy a dolgok hogyan mozognak és változnak. Az idő kezdete és vége egyszerűen nem illeszthető be ebbe a rendszerbe; nemcsak újabb fizikai törvényeket kellene kitalálnunk hozzájuk, hanem teljesen új típusú fizikát, amely tartózkodik az olyan időtől függő temporális fogalmaktól, mint a mozgás és a változás, annak érdekében, hogy időtlen fogalmakat vezessen be, mint például a geometriai elegancia.”

Amennyiben a világegyetem mégis örökké fennmaradna, az idő nélkül mi magunk nem lennének képesek életben maradni.

A szubatomi világ rengeteg meglepetést tartogat a szá munkra, bár ezek általában nem vezetnek katasztrófák hoz. Létezik azonban a fizika törvényei/mögötfejű titok egy részecske, amely annyira halálosfl®gy a. pusztá je lenléte az egész bolygó pusztulásáhozplzeth^be.^^i

Strangletek

alán nem véletlen, hogy az egyik legbizarrabb jelenség a valaha alkalmazott legsikeresebb és egyben legbizarrabb fizikai elméletek egyikéből, a kvantummechanikából ered. A legparányibb dolgokkal foglalkozó tudományág tele van különös ötletekkel, például azzal, hogy képtelenség megállapítani a szubatomi részecskékről, hogy pontosan hol vannak és mit csinálnak. Egyes értelmezések még azt is felvetik, hogy egyszerre több világ létezik, és minden egyes döntésünkkel egy újabbat hozunk létre. Bármilyen különösen hangozzanak, szerencsére egyik ilyen elmélet sem fenyegeti szükségszerűen halás veszedelemmel a világot.

Az egyenletek mögött azonban szörnyű titok bujkál. Az elemi részecskék és az általunk is ismert hétköznapi anyagot létrehozó kölcsönhatásai leírásai között valami rettenetes doleg rejtőzik - egy elméletileg létező részecske, amely annyira stabil, hogy bármilyen másik anyagrészecskét képes önmaga másolatává alakítani.

A fizika törvényei egyértelműen kimondják, hogy ha egy ilyen részecske, egy ún. strangelet kapcsolatba kerülne bármelyik normális anyagot alkotó, protonokból és neutronokból álló részecskével, az utóbbi valahogyan felismerné, hogy kevésbé hatékony energiaszinttel rendelkezik, és azonnal átrendezné magát strangeletté. Ezek a másolatok

azután tovább folytatnák a többi részecske átalakítását újabb strangeletekké.

Alig pár óra leforgása alatt egy maroknyi ilyen részecske az egész bolygó egységesen jellegtelen masszává alakítaná át.

Ez lenne az igazi végítéletfegyver: alig pár óra leforgása alatt egy maroknyi ilyen részecske az

egész bolygó egységesen jellegtelen masszává alakítaná át. A bolygó és a rajta található minden anyag megszűnne létezni.

Mik azok a strangeletek?

Ahhoz, hogy megértsük, mik azok a strangeletek, nézzük meg, hogyan is épülnek fel a világégyetemet alkotó anyag részecskéi!

A részecskefizika általános modellje pontos kvantummechanikai leírást ad az összes általunk ismert, létező szubatomi részecskére vonatkozóan. Kimondja, hogy minden anyagi részecskét 6 kvark (ezek némelyike alkotja a protonokat és neutronokat, mások annyira nehézek, hogy csak a másodperc töredékéig képesek megmaradni, mielőtt kisebb részecskékké bomlanak el) és 6 lepton (ide tartoznak az elektronok és neutrínók) kombinációja alkotja. Léteznek olyan részecskék is, ún. bozonok, amelyek az alapvető kölcsönhatásokat közvetítik; ide tartoznak a fényt alkotó részecskék, a fotonok és az atommag belsejében a kvarkokat összetartó gluonok.

Egy strangelet az egyik ritkábban előforduló kvarkot is tartalmazza. A kvarkoknak három generációját különböztetjük meg: ezek minden egyikébe olyan részecskék tartoznak, amelyeknek nagyságrendekkel nagyobb a tömegük az előző generációhoz képest. Eszerint van fel (*u*) és le (*d*), furcsa (*s*) és bájos (*c*), felső (*t*) és alsó (*b*) kvark. Ezek közül csak 2 típus, az *u*- és a *d*-kvark hat közvetlenül a hétköznapi életünk-re. A protonokat 2 *u*- és 1 *d*-kvark alkotja; a neutronokat 2 *d*- és 1 *u*-kvark.

A strangelet egy olyan hipotetikus részecske, amely egyenlő számú *u*-kvarkot, *d*-kvarkot és *s*-kvarkokat tartalmaz. Az *s*-kvarkok nagyobb tömege miatt ez a kombináció ugyanakkora lenne, mint egy kisebb atom magja, amely egyébként több tucat *u*- és *d*-kvarkot tartalmazhat. Normális esetben az *s*-kvarkok instabilak és nem sokkal a kialakulásuk után könnyebb kvarkokká alakulnak át.

Léteznek azonban hipotézisek arról, hogy ha sok *u*-, *d*- és *s*-kvark kapcsolódna egymással, az így kialakuló tömeg kevésbé lenne hajlamos a szétesésre. Az ún. furcsaanyag-hipotézis szerint, amelyet töb-

bek között Ed Witten dolgozott ki a princetonói Haladó Tudományok Intézetében, egy sok kvarkból felépülő strangelet még a hagyományos atommagnál is stabilabb lenne.

Amennyiben egy ilyen strangelet összeütközne egy normális atommaggal, az utóbbi egymilliárdod másodperc alatt átalakulna strangeletté, és igen rövid idő alatt annyi energia szabadulna fel, ami ezután elősegítené az újabb atommagok átalakulását is. A Földünket is felépítő, közönséges anyagot alkotó összes atommag egyenként átalakulna strangeletté, a bolygó pedig egy hatalmas, forró kupac furcsa anyagként végezné.

A sci-fi irodalomban is megjelent ez a téma a Kurt Vonnegut egyik regényében. A *Macskabölcsőben* (*Cats' Cradle*)¹⁰ egy olyan szuperjég elnevezésű kitalált anyagról ír, amely a víz sokkal stabilabb formája, 0 °C helyett 45,8 °C-os olvadásponttal. Amikor a szuperjég hozzáér a normális vízhez, úgy viselkedik, mint egy katalizátor, és a teljes víztömeget megszilárdítja. A regény végén valaki végül a szuperjég segítségével megszilárdítja a Föld összes óceánját.

Léteznek-e a strangeletek a valóságban is?

Nincs bizonyítékunk arra, hogy valahol a világűr mélyén nem lebegnek-e észrevétlenül hatalmas strangeletfelhők. Nem lehetetlen, hogy kozmikus ütközések során, természetes úton is létre tudnak jönni, és ez talán segítene megmagyarázni a titokzatos sötét anyag létezését, amely a tudósok szerint az univerzum tömegének egynegyedét teszi ki, mégsem érzékelhető. Ha ilyen strangeletfelhők mégis léteznének, nem sokat tehetnénk az ellen, hogy valamelyikük a Naprendszerünk felé sodródjon.

Sokkal aggasztóbb annak a lehetősége, hogy itt a Földön hozunk létre strangeleteket. A fizikusok már többször alaposan utánajártak an-

nak, hogy ezek vajon mennyire jelentenének halálos fenyegéstől ránk. Mindezt azért, hogy megnyugtassák a közvéleményt, amely az egyre nagyobb részecskegyorsítók építése miatt aggodalmaskodik, attól félve, hogy a nagy energiájú ütközések során véletlenül strangeletek alakulhatnak ki.

Mielőtt a tudósok 2000-ben beindították a relativisztikus nehézion-ütköztetőt (Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC) az Egyesült Államokban, elvégeztek egy tanulmányt azokról a katasztrófális eseményekről, amelyek az ilyen nagy energiájú részecskék összeütközése esetén véletlenül bekövetkezhetnek.

Sheldon Glashow és Richárd Wilson, a Harvard Egyetem fizikusai így írták le az RHIC-t 1999-ben: „Magas töltésű arany- és ólomatomok sugarai (azaz nehézionok) haladnak relativisztikus sebességgel (a fénysebesség 99,95%-ának megfelelő sebesség) egymással ellenkező irányban körkörös pályán, majd összeütköznek. Az RHIC gyakorlatilag egy atomzúzdala: a másodpercenként akár több ezerszer is létrejövő mag-mag ütközések mindegyike ezzel hozza létre a másodlagos részecskéket. Ezeket a hihetetlenül komplex eseményeket bonyolult detektorok rögzítik, szuper-számítógépek és kisebb számítógépek hada fog kielemezni világ-szerte. Az RHIC-ben olyan sűrűségben és hőmérsékleten tanulmányozhatjuk az anyagot, ami eddig nem fordult elő laboratóriumokban. Kicsiben reprodukálja az univerzum korai szakaszát jellemző extrém körülményeket, amelyek fennállása esetén a közönséges anyag várhatóan kvark-gluon plazmákat fog felszabadulni.”

A tudósok ezután két biztonsági tanulmány vétkövetkeztetéseivel folytatták. „Mindkét táborban vannak olyan teoretikusok, akik elsőként töprengtek el azon, hogy a strangeleteknek nevezett furcsaanyag-

A Földünket is felépítő, közönséges anyagot alkotó összes atommag egyenként átalakulna strangeletté, a bolygó pedig egy hatalmas, forró kupac furcsa anyagként végezné.

halmazok - amelyek az atomok magját alkotó szokásos u- és d-kvarkok mellett s-kvarkokat is nagy számban tartalmaznak - jóval stabilabbak lehetnek a közönséges anyagnál. Amennyiben a strangeletek valóban léteznek (ami nem kizárátható), és valóban meglehetősen stabil halmazokat alkotnak (ami nem valószínű), ráadásul negatív töltéssel rendelkeznek (bár az elmélet szerint inkább pozitív töltésűek), és ha valóban lehetséges apró strangeleteket létrehozni az RHIC-ben (ami rendkívül valószínűtlen), akkor az tényleg jelenthet némi problémát. Egy újonnan létrejött strangelet magával ragadhatja az atommagokat és egyre növekedve végül felfalhatja az egész Földet. A valószínűtlen kifejezés azonban, amely többszörösen is felmerült, mégsem elegendő ahhoz, hogy elűzze a teljes pusztulástól való rettegésünket."

Mennyi ennek az esélye?

Annak érdekében, hogy enyhítse a strangeletek könnyű előállíthatósága miatti aggodalmakat, Glashow felhívta a figyelmet a természetben is előforduló kísérletekre. A kozmikus sugárzás (többnyire nagy energiájú protonok sugara a világűrben) a fényét megközelítő sebességgel száguld keresztül a világűrön; bármi, ami az útjába kerül, folyamatosan kiteszi magát az ütközésnek ezekkel a részecskékkel. Glashow a Föld körül keringő Holdat hozta fel példaként a természetben is előforduló kísérletekre.

„Alkalmas célpont lenne védelmet nyújtó légkör hiányában és a felszínén nagy mennyiségen előforduló közepes méretű (vas) atomok miatt. A felületet elérő, véletlenszerű kozmikus sugárzás részét képező, az RHIC hatalmas energiájával rendelkező vas (vagy annál is nagyobb) atommagok képesek lennének strangeleteket létrehozni - állítja Glashow. - A több milliárd éve tartó számtalan ütközés mégis érintetlenül hagyta a Holdat.”

Mielőtt azonban megkönnyebbulen hátradólnénk, hadd idézzek egy másik elgondolkodtató tanulmányt. Max Tegmark, a Massachusettsi Műszaki Egyetem fizikusa, és Nick Bostrom filozófus, az Oxfordi Egyetem Az Emberiség Jövője Intézetének igazgatója szerint ugyan nagyon kicsi annak a végzetes eseménynek az esélye, hogy a nagyenergiás fizikai kísérletek előidézhetik a Föld pusztulását, de ez hamis biztonságérzetet kelthet bennünk. „Az a tény, hogy Földünk ilyen régóta létezik, még nem jelenti feltétlenül azt, hogy ilyen katasztrófák nem fordulhatnak elő. Hiszen a megfigyelő általában, definíció szerint, olyan helyen tartózkodik, amit elkerült a pusztítás” - mutattak rá a *Nature*-ben 2005-ben megjelent cikkükben.

Az a tény, hogy Földünk ilyen régóta létezik, még nem jelenti feltétlenül azt, hogy ilyen katasztrófák nem fordulhatnak elő.

Tekintve, hogy a földi élet közel négymilliárd éve alakult ki, könnyű azt feltételezni, hogy a természeti katasztrófák rendkívül ritkán fordulnak elő. A kutatók szerint azonban ez az érvelés sajnos hibás, mivel elfelejti számításba venni „a megfigyelési kiválasztási effektust, amelynek lényege, hogy a megfigyelők eleve ki vannak zárva abból a lehetőségből, hogy észrevegyenek bármí egyebet, ami nem arról szól, hogy az ő fajuk a megfigyelés időpontjáig életben maradt. Amennyiben 4,6 milliárd évbe telik, míg egy intelligens, megfigyelésre képes faj kifejlődik, akkor az a tény, hogy a Föld mostanáig érintetlen maradt, még csak arra sem ad alapot, hogy 99%-os biztonsággal megcáfoljuk a hipotézist, miszerint egy átlagos kozmikus szomszédság sterilizálódik, mondjuk ezerévente. A megfigyelési kiválasztási effektus garantálja, hogy szerencsésnek ítéljük meg a helyzetünket attól függetlenül, hogy például ez a sterilizálási esemény milyen gyakran következik be.”

A szerzők hozzáteszik még, hogy a bolygók kialakulásának adatai alapján az intelligens fajok születési időpontjának eloszlása kiszámít-

ható a kozmikus sterilizáció gyakoriságára vonatkozó különböző feltételezések alapján. „Mindezt összevetve a saját ideiglenes jelenlétünk információival, 99,9%-os biztonsággal kijelenthetjük, hogy egy lakható bolygó kozmikus sterilizálásának gyakorisága legfeljebb 1 az 1,1 milliárd év-hez.”

Ezek szerint egyelőre nincs miért aggódnunk.

Amikor a tudósoknak 2000-ben először sikerült felvázolniuk a teljes humán genom bázissorrendjét, végre hozzáférhetővé vált az emberi élet biokémiját irányító kifinomult műszer. E biokémia megértésének és módosításának elsődleges célja természetesen a betegségek száműzése. Miért ne használhatnánk azonban ezt a tudást arra, hogy még tökéletesebbé, gyorsabbá, erősebbé, okosabbá tegyük általa az embereket?

Genetikailag létrehozott szuperemberek

a a géntechnológia alkalmas arra, hogy megszüntesse a betegségeket, miért ne választhatnánk ki azokat a géneket, amelyek jobb fizikai és mentális képességekhez segíthetnek bennünket? Ha valaki elegendő pénzzel és motivációval rendelkezne, lehetséges volna a számára, hogy a gyermekeit szuperképességekkel ruházza fel? Ha birtokunkban van a technológia, miért hagynánk az emberi evoluciót a lassú és véletlenszerű természetes szelekcióra, amikor ehelyett egy genom mesterséges átalakításával fel is gyorsíthatnánk a folyamatot?

Az így továbbfejlesztett, egymást követő generációk során talán egy külön faj alakulna ki, amely nagyban különbözne a ma élő átlagos, előnyös és hibás tulajdonságok keverékével rendelkező emberektől. Ezek a továbbfejlesztett lények mindenben egyre tökéletesebbek lennének, és végül az is előfordulhatna, hogy átlagos társaikat a kihalás szélére taszítanák. A géntechnológiának köszönhetően létrejönne az emberiség egy új alfaja, ami egyben a *Homo sapiens* végét jelentené.

Milyen lehetőségek rejlenek a génmódosításban?

1953-ban Francis Crick és James Watson óriási lendületet adott a molekuláris biológiának a DNS molekuláris szerkezetének részletes leírásával, amelybe az élő szervezetek létrehozásához szükséges információk vannak bekódolva. Leírásuk szerint ez a kettős hélix szerkezetű molekula négyfajta nukleotid molekulából épül fel (adenin, timin, guanin, citozin), amelyek meghatározott sorrendben kapcsolódnak egymáshoz. Ezek a DNS-molekulán belül párokat alkotnak - az adenin a timinnel, a guanin pedig a citozinnal - amelyeket egy foszfátcsoportból és pentóz cukorból (dezoxiribózból) álló váz tart meg.

Közel 50 évvel később Bili Clinton, az Egyesült Államok elnöke és Tony Blair, az Egyesült Királyság miniszterelnöke közös sajtótájékoztatón jelentette be, hogy tudósok egy csapatjának sikerült a humán genomot felépítő 3 milliárd DNS-bázispár sorrendjét meghatározni.

Fantasztikus pillanat volt ez. Az emberi DNS megértése kulcsfontosságú a legtöbb, ha nem az összes betegség megértéséhez, beleértve a rákot és az olyan gyógyíthatatlan neurodegeneratív betegségeket, mint például az Alzheimer-kór. A DNS-nek ugyancsak meghatározó szerepe van az olyan alapvető fizikai jellemzők kialakulásában, mint a magasság, a kognitív képességek, az izomtömeg és az anyagcsere gyorsasága. A Humán Genom Projekt (HGP) során sikerült feltárnival azokat a be-

tűket és szavakat, amelyek segítségével a természet az élet lenyűgöző történeteit írja. Az elmúlt tíz év során a tudósok igyekeztek megfejteni a történeteket, amelyekről génjeink mesélnek. A betegségek legyőzése csak az egyik alkalmazási lehetősége az így megszerzett genetikai tudásnak. Továbbiak rejlenek azonban az egészséges emberek továbbfejlesztésében.

Mennyire könnyű a génmódosítás?

Gyermekeink genomjának újraprogramozása annak érdekében, hogy a lehető legjobb esélyekkel induljanak az életben, az egyik legalapvetőbb elvárás a géntechnológiával szemben. „Mikor válik végre lehetővé, hogy születendő utódom ártalmas genetikai mutációit eltávolítsák?” - kérdezik sokan. És ha már itt tartunk, miért ne lehetne kék szeme és még több gyorsan összehúzódó izomrostja, hogy kiváló rövidtávfutó legyen, amikor felnő?

A gének újraprogramozása egyelőre nagyon körülmenyes folyamat, ráadásul a kívánt eredmény sem garantálható. Ennek több technikai oka van: először is, egy gén csak akkor választható ki, ha legalább az egyik szülő rendelkezik vele. Ha pedig egy adott génnel bíró gyermeket szeretnénk, több tucat embriót kell egyszerre létrehozni, amelyekből ki lehet majd választani a legmegfelelőbb génkombinációval rendelkezőt. Ezt a preimplantációs genetikai diagnosztika (pre-implantation genetic diagnosis, PGD) néven ismert technikát a lombikbébi programok (in-vitro fertilization, IVF) esetén szokták alkalmazni.

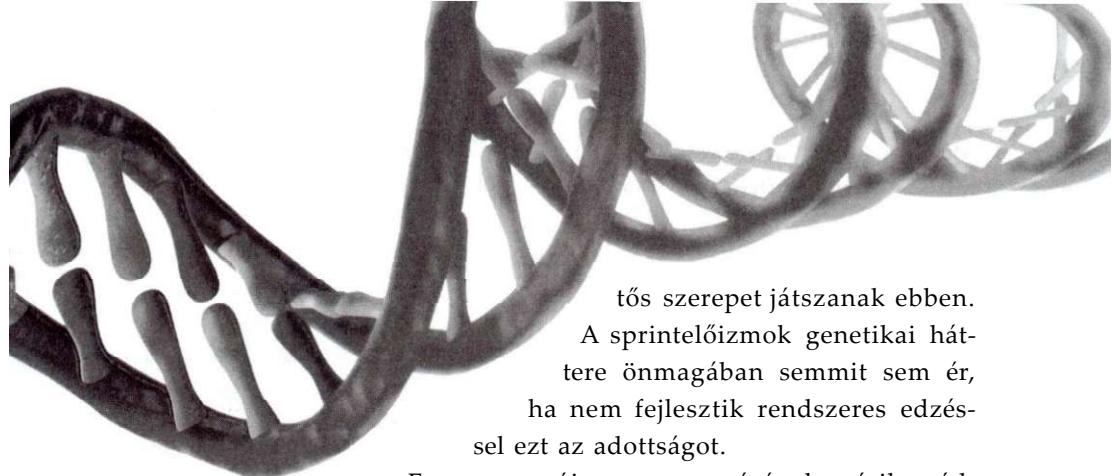
Ha viszont egy teljes genomot szeretnénk több különleges génnel újraprogramozni, a PGD nem lenne túl szerencsés módszer. Egyszerre több gén megváltoztatása esetén több tucat, akár több száz embriót is létre kellene hozni, majd ezekből kiválogatni a tökéletes kombinációt. Képzeliük csak el, hány petesejtet kellene elpazarolnunk csak azért,

A DNS kettős hélix tartalmazza az élet kódját. A létrá formájú molekula fokait 3 milliárd A, C, G és T (adenin, citozin, guanin és timin) bázispárból álló szekvencia alkotja, amelynek dekódolásával hozza létre a sejt az élet számára nélkülözhetetlen fehérjéket.



hogy gyermekünket több különböző génnel láthassuk el; arról se feldezzünk meg, hogy még ha sikerülne is létrehozni a tökéletes kombinációt, a lombkbébiprogramok során nem mindig garantált, hogy a kiválasztott embrió életben is marad.

Ráadásul a génekre vonatkozó tudásunk közel sem olyan alapos, hogy ilyen mértékben előre meghatározhassuk a genetikai programozás során elvárt eredményeket. Igen ritkák azok a betegségek, amelyeknek a kialakulása csak egyetlen génhez köthető: klasszikus példa erre a cisztás fibrózis. Ez egy olyan öröklődő betegség, amelynek során többek között a tüdőben található légutakban sűrű váladék rakódik le. A tudósok rájöttek, hogy ez akkor alakul ki, ha a CFTR gén minden másolata elégtelenül működik, azaz minden szülőtől hibás génumutáció öröklődött át. A legtöbb betegség kialakulásában eltérő mértékben, több száz gén is érintett lehet. A fizikai tulajdonságok kialakulásáért pedig csak részben felelősek a gének, a környezeti tényezők is jelen-



tős szerepet játszanak ebben.
A sprintelőízmok genetikai háttere önmagában semmit sem ér,
ha nem fejlesztik rendszeres edzés-sel ezt az adottságot.

Egy genom újraprogramozásának másik mód-szere a szülő csírvonalsejtjének (a petesejtnek és a hímivarsejtnek) módosítása. A tudósok kutatási célokból ma már meg tudják gátolni egyes állati gének működését, amelyet a csírvonalsejtek módosításával sikerül elérniük. Ez a módszer azonban igen kockázatos. Az egereken végzett ilyen típusú kísérletek 15%-a során az egyedek elpusztultak, és még nagyobb arányban jöttek létre sérült állatok. Sok emberi gén több funkciót is ellát - ugyanazt a gént hozzák kapcsolatba például a magas IQ-val, mint amelyik annak az izombetegségnek a kialakulásáért is felelős, amely tolószékbe kényszeríti az ebben szenvedőket.

A génkifejeződések módosításának sokkal ígéretesebb lehetősége az a módszer, amely sem a csírvonalsejtek, sem a magzat genetikai módosításával nem foglalkozik. Ehelyett a test természetes folyamatait használja fel arra, hogy eldöntse, melyik sejtben melyik gén milyen mértékben aktiválódjon. Ez az epigenetika elnevezésű módszer azokat a génkifejeződésekben beálló változásokat vizsgálja, amelyek nem köthetők a DNS-szekvencia módosulásához. Az epigenetika segítségével számos dolog megváltoztatható egy élő szervezetben a virágok formájától a gyümölcslegyek szemének színéig.

Az egyik ilyen eljárás során bizonyos molekulákat, ún. metilcsoportokat kapcsolnak egy gén meghatározott szakaszához, s ennek következtében a metilcsoport blokkolja az adott gén működését. Ezt a

metilcsoportot átmenetileg is lehet alkalmazni, sőt lokális környezeti tényezők, például vegyszerek, illetve a táplálék vagy tápanyag megváltoztatásával is létrehozható.

Az ellenőrizetlen génmódosítás veszélyei

Egy nap le fogjuk győzni a technológiai akadályokat is. Képzeljük el a jövőt, amelyben eldönthetjük, hogy az utódaink hogyan nézzenek ki (természetesen a saját külső jegyeinket alapul véve), magasak legyenek-e vagy alacsonyak, mennyire legyen jó a látásuk, rövid- vagy hosszútávfutásban jeleskedjenek-e, mennyire legyenek okosak, önzők vagy önzetlenek. A betegségeket okozó géneket természetesen addigra már régen kiiktattuk.

Amennyiben ezek a technológiák a birtokunkban lesznek, nehéz elképzelni, hogy az emberek ne szeretnének élni a lehetőségekkel. A világban állandó a versengés; érdemes minden lehetséges előnyt biztosítani a gyermekeink számára, nem igaz? „A csíravonal genetikai módsosításának sok ellenzője emiatt aggódik a leginkább, mert így egyre nőne a szakadék az adott tulajdonsággal rendelkező és nem rendelkező emberek között - magyarázza Nick Bostrom filozófus, az Oxfordi Egyetem Az Emberiség Jövője Intézetének igazgatója. - A jómódú családból származó gyerekek ma is sok környezeti kiváltságot élveznek, mint a színvonalasabb oktatást és közösségi kapcsolatokat. Mindez vitathatatlan előnyökhez juttatja őket a szegényebb háttérrel rendelkező társaikkal szemben. Könnyen elképzelhető, hogy az effajta egyenlőtliségek tovább nőnének a genetikai beavatkozásoknak köszönhetően, amelyeket csak a gazdagok engedhetnének meg maguknak, további előnyökhez juttatva a már eddig is komoly környezeti előnyökkel induló, kivételezett gyermekeiket. Az sem lehetetlen, hogy a társadalom

kiváltságos rétegének tagjai végül olyan mértékben fejlesztik tovább önmagukat és utódaikat, hogy az emberi fajnak gyakorlati okokból két vagy több alfaja alakulna ki, amelyekben a közös evolúciós háttéren kívül már semmi közös nem lenne."

Bostrom szerint ezek a genetikailag kiváltságos helyzetben lévő emberek kortalan, makkegészséges, hibátlan szépségű szuperzsenikké válnának, akiket sziporkázó észjárás, lefegyverzően önkritisztikus humorérzék, sugárzó melegszívűség, együtt érző kedvesség és nyugodt magabiztoság jellemezne. „Mindenki más olyan maradna, mint az emberek ma-napság, talán csak a némileg sérült önbecsülésüktől és az időnként rájuk törő irigységtől szenevednének jobban. Az alsó és felső társadalmi osztályok közötti mobilitás megszűnne, és egy szegény családba születő gyerek, akinek nincs lehetősége a genetikai előnyök megszerzésére, valószínűleg lehetetlennek fogja érezni, hogy felvegye a versenyt a gazdag, szuperképességekkel megáldott társaival. Még a diszkrimináció és az alsóbb osztályok kiszákmányolása nélkül is van valami kellemetlenül zavaró egy ilyen szélsőségesen egyenlőtlen társadalom lehetőségében.”

Elképzelhető ilyen esetben, hogy a fejlettebb és a kevésbé fejlett rétegek közötti feszültségek akkorára nőnek, hogy végül háború tör ki közöttük? Hogy az emberiség gazdagabb adottságú egyedei magasabb intelligenciájuk és nagyobb erejük révén egyszerűen leigázzák átlagos embertársaikat? Ha igen, akkor a modern ember számára ez lenne a vég.

A Humán Genom Projekt során sikerült feltárnival azokat a betűket és szavakat, amelyek segítségevel a természet az élet lenyűgöző történeteit írja.

Mindez mennyire valószínű?

Egyre többet tudunk a génekről, a tudósok pedig egyre ügyesebbek lesznek az emberi génmódosítás területén. Vitatkozhatunk arról, hogy meddig lehetséges eljutni ezen a területen, de nem sok értelme van olyasmit megkérőjelezni, ami lényegében kizárolag a technológiától függ. A hatásaival kapcsolatos kérdésekre adható válaszok, illetve a lehetséges végzetes következmények minden attól függenek, hogy ez a technológia mennyire lesz elérhető, alkalmazható és ellenőrizhető.

A potenciális veszélyek elkerülésének egyik módja a teljes tiltás. Ez működhet a törvénytisztelő népesség körében, de ha a génmódosítás valóban jelentős előnyökhöz juttatná az embereket, akkor igen hamar kialakulna a feketepiaca, és ennek nyomán a kettéosztott társadalom. Bostrom azért javasolja éppen az ellenkezőjét, hogy elejét vehessük mindeneknek a problémáknak. Annak érdekében, hogy megakadályozzák a technológia egyenlőtlenségnövelő tendenciáinak kialakulását, a kormányoknak különöző támogatási rendszerek kidolgozásával általánosan hozzáférhetőbbé kellene tenniük ezt a módszert, és biztosítaniuk kell az ingyenességet a szegény szülők gyermekei számára. „Azokban az esetekben, amikor a genetikai módosítás jelentős pozitív külső hatásokkal járna, az nemcsak a támogatás kedvezményezettje, de az egész társadalom számára előnyökkel járna - magyarázza Bostrom. - Más esetekben a társadalmi igazságosság és szolidaritás jegyében kellene támogatnunk ezt a politikát.”

Mindez természetesen túlságosan is rózsaszín képet fest a világról. Aki azonban ennél cinikusabban áll mindehhez, annak Bostrom egy másik példát említi, ami azt bizonyítja, hogy a genetikai módosítás nem annyira veszélyes, mint amennyire a pesszimisták gondolják. Arra próbál rámutatni, miért különösen valószínűtlen, hogy a fejlettebb és kevésbé fejlett egyedek között például háború törjön ki. Szerinte elvileg a népesség legmagasabb 90%-a ma is összefoghatna és legyilkolhatná

vagy leigázhatná a fennmaradó alacsonyabb 10%-ot. „Az, hogy ez még sem következik be, arra utal, hogy egy jól szervezett társadalom képes együttműködni még akkor is, ha sok olyan potenciális csoport létezik benne, amelynek tagjai sajátos, közös tulajdonságaik alapján összeverődve kiirthatnák a többieket.”

Talán elképzelhető, hogy a géntechnológia segítségével képesek lennének létrehozni egy új típusú fajt, amely végül az eredeti, nem módosított emberi faj pusztulásához vezetne. Az egyetlen módja, hogy ezt elkerülhessük, ha bízunk benne: a tökéletességre törekvés közben magától az emberiességtől nem fogunk megszabadulni.

Vajon modern életvitelünk mennyire befolyásolja a természetes szelekciót? Az orvostudomány és a gyógyszerek fejlődésével vajon elősegítjük-e a nemkívánatos DNS terjedését, amelyet korábban az evolúció kigyomlált volna az emberi génállományból? Mekkora problémákat okozhat mindez a fajunk számára?

Diszgenika

gy virágzó, boldog társadalomhoz rengeteg intelligens ember kell, akik kölcsönösen tiszteletben tartják a másikat. Vigyáznak egymásra és minden újabb ötletekkel állnak elő, hogy közös sorsukat még jobbá tegyék. Az egészséget és intelligenciát támogató gének jó dolgok, és ha a természetes szelekcióra bíznánk, bizonyára ezek kerülnének túlsúlyba a társadalomban. A betegségek, fogyatékok vagy mentális problémák rossz génjeit a XIX. században Charles Darwin által felvázolt alapelvek szerint a természetnek kellene kigyomlálnia. Az orvostudomány fejlődése azonban megállította ezt a természetes folyamatot.

Ami még ennél is rosszabb, hogy ezzel a társadalom számára sokkal kedvezőbb tulajdonságokért felelős gének is veszélybe kerülhetnek. Ammenniben bizonyos mértékben az IQ-ért is a gének felelősek, és a magas intelligenciahányadossal rendelkező embereknek kevesebb gyerekük születik, mint az alacsonyabbal élőknek, akkor ennek a populációra jellemző átlagos intelligencia fogja kárát látni. Ha a másokhoz való jóság részben genetikai eredetű, és a jóindulatú emberek nem olyan termékenyek, mint kevésbé jóindulatú társaik, akkor a rosszinindulatúság génjei elterjedtebbé válhatnak.

„Jelenleg úgy tűnik, hogy egyes helyeken negatív korreláció áll fenn az intellektuális teljesítmény és a termékenység között - állítja Nick Bostrom, az Oxfordi Egyetem filozófusa és Az Emberiség Jövője Intézetének igazgatója. - Ha egy ilyenfajta szelekció hosszú időn át fejtené ki a hatását, akkor nagy valószínűsséggel kevésbé okos, de jóval termékenyebb fajtá válnánk, és létrejönne az ún. *Homo philoprogenitus*, azaz a sok utódot kedvelő faj.”

Előfordulhat-e, hogy az emberiség esetében a jó géneket végül kiszorítják a rossz gének?

Mind mutánsok vagyunk

Steve Jones, a University College London genetikusa úgy véli, hogy képességünk a korábban halálos kimenetelű betegségek meggyógyítására, illetve hogy nagymértékben tudjuk befolyásolni a testünket és a környezetünket, megfosztották az evolúció természetes erőit a felettünk gyakorolt hatalomtól.

Az emberekre jellemző variációk genetikai mutációk során alakultak ki. minden egyes sejtosztódás alkalmával a benne található DNS módosulhat. Ezek többségének nincs mindenre kiterjedő hatása, és még az utódokra sem örökölnek át. Időnként azonban előfordulhat, hogy a mutációk éppen azt módosítják, ahogyan a test egyes részei kinéznek vagy működnek, még ritkábban pedig az is megtörténhet, hogy

ez a változás végzetes következményekkel jár. Ahogy öregszünk, a mutációk száma is egyre nő.

Jones azonban felteszi azt a fontos kérdést, hogy ha a korábban végzetes genetikai mutációk manapság rutinszerűen életben maradnak és átörökíthetővé válnak, akkor milyen lehetőségek maradnak a természetes szelekció számára az emberi faj esetében.

Azt a folyamatot, amely során egy bizonyos mutáció egyre gyakoribbá válik egy populációban belül, szelekcionál vagy kiválasztódásnak nevezünk. Az elmúlt 5000 év során például az emberi bőrszínért felelős gén mutációinak

eredményeképpen jött létre egyeseken a világos, másokon a sötét bőrszín. A fehér bőr, amely azzal az előnyös tulajdonsággal jár, hogy hatékonyabban állít elő D-vitamint a napfényből, hasznosnak bizonyult az Észak-Európában élők számára, ahol kevesebb a napfény. A szelekciós nyomás azt jelenti, hogy a fehér bőr génvariációja az európaiak 99%-ánál van jelen, míg az afrikaiak 99%-ára a sötét bőr génvariációja jellemző.

A mutáció és a szelekció az evolúció építőkövei, ezek segítségével hozzák létre a természet véletlen erői a fajokat. Míg azonban egykor teljes mértékben az emberi gének től függött a túlélésük, azaz csak azok az egyedek maradtak életben és örökíthették tovább a DNS-üket, akik a legjobb génekkel rendelkeztek, a modern orvostudomány és az életmódunk mindenki számára kiegyenlítette a feltételeket, kiiktatva éppen azt a tényezőt, amely az evolúció megfelelő működését garantálja. A D-vitamin-hiány ma már nem csak a génektől függ, hiszen könnyen pótolható a megfelelő étrend-kiegészítők segítségével. Az idő előrehaladtával a sejtjeinkben összegyűlő genetikai mutációk azért nem ölnek meg bennünket, mert egyre többet tudunk arról, hogyan kezeljük ezeket. Miközben a világ egyes részein egy bizonyos fertőzés mindenkit elpusztíthatott volna, addig az orvostudomány, illetve a helyi környezet átalakítása életeket menthet meg.

Jones azonban felteszi azt a fontos kérdést, hogy ha a korábban végzetes genetikai mutációk manapság rutinszerűen életben maradnak és átörökíthetővé válnak, akkor milyen lehetőségek maradnak a természetes szelekció számára az emberi faj esetében?

Darwin meglehetősen borúltatóan nyilatkozott az emberiség jövőjéről, méghozzá azért, mert modern civilizációkban a természetes szelekciót nem sok esélye maradt, és általában nem a legrátermettebb marad életben.

A diszgenikus disztópia

A diszgenika fogalmát, amely a rossz gének elterjedésére utal az emberi populációban, az 1970-es években William Shockley amerikai Nobel-díjas fizikus használta először. Az azt megelőző évtizedben dolgozta ki elméletét a rasszok és az intelligencia lehetséges kapcsolatára vonatko-

zóan. Az amerikai katonák körében elvégzett IQ-tesztek eredményeire hivatkozva amellett érvelt, hogy a feketék genetikailag alsóbbrendűek, mint a fehérek, a rasszok keveredése esetén pedig attól függ az intelligencia, hogy mennyi fehér ōse volt az illetőnek. Ennek eredményeképpen azt javasolta, hogy az alacsony IQ-val rendelkező emberek önként vessék alá magukat a meddővé tételek, hogy ne tudják továbbörökíteni génjeiket a következő generációkra.

Ezek a gondolatok mai szemmel nézve meglehetősen vitathatók. Nem Shockley volt azonban az egyetlen, aki úgy vélte, hogy a nem-kívánatos gének elterjedése gátolhatja az emberi faj fejlődését. Alfréd Russell Wallace biológus szerint, aki a természetes szelekció elméletének társszerzője volt, még a kiváló természettudós, Charles Darwin is némi leg pesszimista volt az emberiség sorsát illetően. „Egyik legutolsó beszélgetésünk során Darwin meglehetősen borúlatóan nyilatkozott az emberiség jövőjéről. Elmondása szerint nem sok esélye maradt a természetes szelekcionak a modern civilizációnban, ahol jellemzően nem a legréaktermett marad életben - írta Wallace. - Közismert tény, hogy az emberi populáció generációról generációra a legnagyobb mértékben az alsóbb társadalmi rétegekből újul meg, és nem a közép- vagy felső osztályokból." Természetesen ebben a gondolatmenetben is felfedelezhető az a burkolt feltételezés, hogy az alsóbb rétegekből származók és azok utódai biológiai értelemben is alsóbbrendűek.

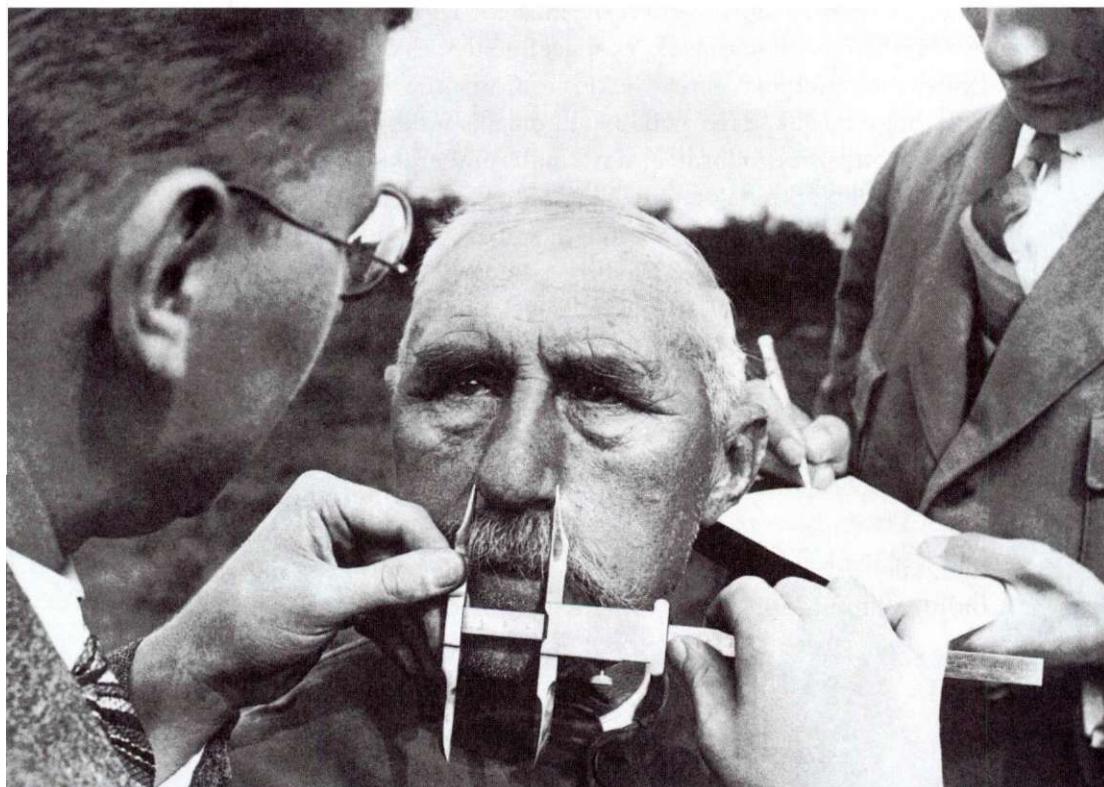
A XX. század elején több próbálkozás is történt a tudósok és kormányok részéről, hogy igazolják az eugenetika (vagy augenika) elméletét: ez a Darwin unokatestvére, Francis Galton által alapított irányzat úgy szerette volna jobbá tenni az emberi fajt, hogy az intelligenciától a temperamentumon keresztül az erkölcsökig, minden területen igyekszik kiiktatni az ártalmas öröklött tulajdonságokat.

„A brit eugenetikusok elsődleges célkitűzése többnyire a kiváltságos osztályok állandósítása volt, míg az amerikaiak elsősorban az elkorcsosult társadalmi rétegek állítólagos züllesztő befolyását szerették

volna megfékezni - írta Dávid Micklos és Elof Carlson biológus a *Nature Reviews Genetics*ben az eugenetika történetéről. - Az eugenetika kutatói megpróbálták kimutatni a diszgenikus tulajdonságok öröklődését a családon belül, és az életben maradt rokonokkal készített interjük, a dologházak, börtönök és elmegyógyintézetek nyilvántartásainak tanulmányozásával igyekeztek felrajzolni a családfákat."

Shockley elméletének előhírnöke, Joseph Arthur Gobineau francia arisztokrata állt elő azzal a XIX. század közepén, hogy a genetikai ha-

Náci hivatalnokok tolómérő műszerrel mérik meg az egyik német kisebbséghoz tartozó férfi orrát. A nácik kidolgoztak egy rendszert az arc részleteinek megmérésére, amely állítólag alkalmas volt a faji származás megállapítására. Az így kapott, elfogultan értelmezett eredményeket arra használták fel, hogy alátámasszák azt a náci elméletet, miszerint a német egy felsőbbrendűbb, árja faj. Az eugenetikusok is hasonló módszerekhez folyamodtak téves igyekezetükben, hogy a legjobb gének elterjesztésével fejlesszék a társadalmat.



nyatlás hátterében a rasszok keveredése állhat. Az eugenetikusok időnként állítólagos tudományos magyarázatokkal próbálták alátámasztani rasszista előítéleteiket. Madison Grant, *The Passing of the Great Race* (A nagy rassz bukása) című, nagy hatást kiváltó művében arra hívta fel a figyelmet, hogy a rasszok keveredése társadalmi bűn, amely a fehér civilizáció vesztét fogja okozni.

Az amerikai eugenetikusok számára a gyengeelémjűség 1910 környékén vált meghatározó szemponttá. Összefüggésbe hozták a deviáns viselkedéssel, a promiskuitással és a bűnözéssel. Az eugenetikai lobbi befolyása érhető tetten a Harry Clay Sharp börtönorvos által 1907-ben javasolt első sterilizációs törvény elfogadásában is Indiana államban. „Az Amerikai Orvostudományi Társaság (American Medical Association, AMA) gyűlésein felszólalva Sharp meggyőzte orvostársait, hogy az illetékes jogalkotóknál lobbizzanak azokért a törvényekért, amelyek lehetővé teszik a kényszerített sterilizációt a szexuális bűnözők, visszaeső bűnözők, epilepsziások, gyengeelémjűek és öröklötten szellemi fogyatékosok esetében - írja Micklos és Carlson. - Ezzel az volt a szándékuk, hogy megakadályozzák az állítólagosán degenerált emberek egy más közötti szaporodását, és a normális emberekkel való keveredést is, ami által bepiszkolnák a jó génállományt.”

Marian van Court, az eugenetika népszerűségét visszaállítani törekvő Jövendő Nemzedék (Future Générations) szervezet alapítója a diszgenika hatására kialakuló lehetséges problémákat az intelligencia

**A fogyatékosság fogalmának
meghatározása nem mindig
egyértelmű és gyakran vitatható.
Mégis mitől válik egy betegség
fogyatékká?**

lom, takarékosság és áldozatkézség is), amennyiben ez hanyatlásnak indul, vele eltűnnék ezek az értékes tulajdonságok is - állítja. - Az

fogalmának segítségével illusztrálja. „Mivel az IQ egy sor vonzó tulajdonsággal hozható kapcsolatba (ilyen például az önzetlenség, a tekintélyelv-ellenesség, a középosztályra jellemző szorga-

alacsony IQ-val rendelkező emberek sokkal nagyobb valószínűséggel válnak bűnözőkké, amiből egyenesen következik, hogy ha az intelligenciáért felelős génállokányunk sorvadásnak indul, akkor azzal a bűnözésre való genetikai hajlamunk is megnő. Ráadásul bizonyítékok vannak arra vonatkozóan, hogy a börtönben eltöltött hosszú időszakok ellenére a bűnözők még mindig jóval nagyobb mértékben szaporodnak, mint a társadalom fennmaradó része."

Van Court az Ulsteri Egyetemen dolgozó Richárd Lynn kutatását idézi érvelése alátámasztásához. Lynn arra az eredményre jutott, hogy a bűnözöknek kétszer annyi gyerekük van Londonban, mint a nem bűnözöknek. „A termékenységgel foglalkozó demográfiai tanulmányokból gyakran szinte teljes mértékben hiányoznak az alsó osztályból származó férfiakra vonatkozó eredmények, mivel az ō utódaikról egyszerűen nem lehet értékelhető adatot gyűjteni: szexuális viselkedésük gyakran túlságosan szabados, kapcsolataik pedig többnyire nem tartósak - állítja Van Court. - Az ikrekről és örökbefogadásról szóló tanulmányok is megerősítik, hogy a törvényellenes cselekményeknek meghatározó genetikai gyökereik vannak, így a bűnözők magasabb termékenységi mutatói eredményeképpen jelentősen megemelkedhet a népességen jelentkező genetikai hajlam a bűnözésre."

Ha elhíssük ezt a társadalomrajzot, akkor valóban egyre elterjedtebbé válhat a bűnözés, legalábbis genetikai értelemben, ezzel szemben az intelligenciának és a jó természetnek befellegzett.

A nemkívánatos gének szándékos kiválasztása

Ha már a nemkívánatos gének elterjedéséről beszélünk, nem az eugenika az egyetlen dolog, ami ezzel kapcsolatban szóba jöhet. A legtöbb normális hallású ember például szörnyű csapásnak tartja a siketséget, amelyet jó lenne elkerülni, vagy meg kell gyógyítani. Azok közül azon-

ban, akik siketnek születtek, sокan úgy tekintenek önmagukra, mint közös szokásokkal és életmóddal rendelkező kulturális kisebbségre, amelyet meg kell őrizni. „Azokhoz az etnikai kisebbségekhez hasonlítják magukat, amelynek tagjai saját nyelvet beszélnek - magyarázza Tom Shakespeare, a Newcastle-i Egyetem bioetikusa. - A Siketek (akik nagy kezdőbetűvel írják ezt a szót, hogy jelezzék a különbséget) jelbeszédre épülő kultúrája közös. A Siketek örülnek a Siket gyermekek születésének; mélyen sértőnek érzik az ezt kiszűrő születést megelőző teszteket; ellenzik halláshiányt, illetve halláskárosodás ellen a fülbe beültethető implantátumok és egyéb technológiák alkalmazását." A Siket szülők egy kisebb csoportja talán egy nap azért fog genetikai teszteket elvégeztetni, hogy meggyőződjenek róla, a gyerekeik szintén siketen születnek.

Egyáltalán hogyan definiálnánk azt, hogy nemkívánatos? Azt gondolnánk, hogy tudjuk, mik a fogyatékosságok, a gyakorlatban mégis igen nehéz meghatározni ezeket. „A fogyatékosság fogalmának meghatározása nem mindig egyértelmű és gyakran vitatható - állítja Jackie Scully, a New Castle-i Egyetem etikusa. - Mégis mitől válik egy betegség fogyatékká, és hogyan különböztessük meg azokat, akik krónikus betegségük kapcsán váltak fogyatékossá, azoktól, akik valamilyen csökkent képességgel rendelkeznek, mégsem betegek? Mi a helyzet azokkal, akik külső jegyeikben rendellenesek, de elutasítják annak a gondolatát, hogy fogyatékosok lennének? Ha túl könnyen alkalmazzuk a fogyatékosság gyűjtőfogalmát anélkül, hogy egyértelműen tisztázunk, mit is értünk alatta, azzal elfedjük, hogy mindenkor, amit a fogyatékkal kapcsolatban nemkívánatosnak tartunk - például a vele járó hátrányokat, szorongásokat, fájdalmakat - számos eltérő oka lehet, és ezek nem mindegyike biológiai jellegű."

Kell-e aggódnunk a gének hanyatlása miatt?

Előfordulhat, hogy azok a nemkívánatos gének fognak sokasodni, amelyek általunk nem normálisnak tartott devianciákat okoznak. Nick Bostrom állítása szerint azonban a génmódosításnak és a szűrővizsgálatoknak köszönhetően azok a gének is el fognak terjedni, amelyek az olyan kívánatos tulajdonságok kialakulásáért felelősek, mint például az értelmi befogadóképesség, a fizikai egészség és a hosszú élettartam. „Mindenesetre, a természetes genetikai evolúció valószínűleg túlságoSAN hosszú időt igényel ahhoz, hogy ez a fajta fejlődés még azelőtt komoly hatást gyakorolna, mielőtt másfajta fejlemények vitathatóvá tennék a kérdést.”

Minden egyes sejtünk szívében, mind a 46 kromoszómát alkotó DNS-szál végéhez tapadva egy apró biológiai óra ketyeg. Valahányszor egy sejt kettéosztódik, ez a szerkezet egyet mozdul előre, minden egyes alkalommal egy lépéssel közelebb hozva a sejt végső pusztulásának időpontját.

Szerves sejtpusztulás

z a biológiai óra a telomer, a DNS-szálnak az a rövid szakasza, amely a kromoszómák végeit lezárja. minden egyes osztódással a sejtbén található telomerek egyre rövidebbé válnak - a túl rövid telomerek a sejt halálát vagy károsodását okozzák, ami több életkortól függő betegség kialakulásához vezethet, ilyen például a rák, az Alzheimer-kór, a szívinfarktus és a szélütés. A telomerek a sejtek biztonságos működésének kulcsszereplői, mivel megakadályozzák, hogy azok ellenőrzés hiányában rákos sejtekkel alakuljanak át.

Reinhard Stindl, a Bécsi Egyetem Orvosbiológiai Intézetének munkatársa azonban azt állítja, hogy a telomerek effajta természetes rövidülése nem feltétlenül csak az egyes sejtekben következik be. Véleménye szerint elköpzelhető, hogy az emberiség egymást követő generációiban is végigmegy ez a folyamat, amely akár az emberi populáció

hanyatlásához is vezethet. „A több ezer generáció alatt a telomerek fokozatosan elkopnak, egészen addig a kritikus szintig, amelynek elérésekor az eleinte csak az egyébként időskorra jellemző betegségek már fiatalabb korban is megjelennek, majd végül a populáció teljes elsvoradásához vezethetnek. A telomer kopása olyan magyarázattal szolgálhatna a látszólag sikeres fajok, például a Neander-völgyi ember eltűnésére, amely feleslegessé tenné a klímaváltozáshoz hasonló külső okok keresését.”

Ráadásul minden nem csak az emberekre vonatkozik. Stindl szerint a baktériumok és az algák kivételével minden fajra jellemző a telomerek rövidülése generációról generációra. Ez azt jelenti, hogy az összes bonyolult életforma belsejében ott ketyeg egy beépített evolúciós időzítő készülék, amely minden faj számára elhozza a feltartóztathatatlan véget.

Mik azok a telomerek?

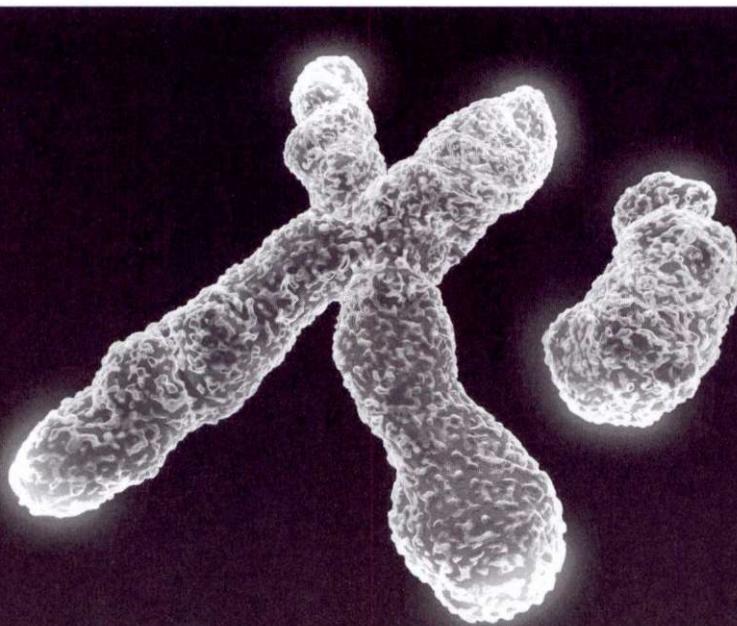
Sejtjeink magjának szívében 23 pár rendkívül vékony és hosszú DNS-szál található, amelyeket kromoszómáknak nevezünk. E kromoszómárok egyike az apától, a másik pedig az anyától származik, és a fehérjék létrehozásához szükséges kódokat tartalmazó gének alkotják, illetve hosszú, ún. nem fehérjekódoló DNS-szakaszok, amelyeket korábban hulladék DNS-nek neveztek, mivel nem tartalmaznak fehérjekódolásra vonatkozó információt. minden egyes kromoszóma végén egy telomer helyezkedik el, amely a bázispároknak azon jellemző szakasza, amely a legegyszerűbb egysejtűektől egészen az emberig minden faj sejtjeiben megtalálható és olyan, akár a DNS hosszú szálainak a végén a pont.

A telomerek elsődleges funkciója, hogy megvédjék a kromoszómákat azáltal, hogy megakadályozzák a DNS-szál végeinek összetapadá-

sát a sejtmagon belül, vagy hogy véletlenül génállományt cseréljenek. Az ilyen hibák következtében alakulhatnak ki a rákos vagy más abnormális viselkedést mutató sejtek.

Ezek a zárókupakok ugyancsak nélkülözhetetlenek a sejtek megfelelő osztódásának biztosításában, s így az egész szervezet egészséges működéséhez. minden egyes sejtosztódás alkalmával a sejtnek pontosan le kell másolnia a DNS bázispárokat, hogy az újonnan létrejövő sejtek is tartalmazzák a teljes génállományt. Sajnálatos módon ez a másolási mechanizmus soha nem jut el a DNS-szál legvégeig. Ha nem lennének ott a telomerek, minden egyes reprodukció során lemaradna a kromoszómák vége, ami kulcsfontosságú DNS-szakaszok (és velük genetikai információ) elveszítéséhez vezetne, valahányszor egy sejt kettéosztódik, így azonban a sejtosztódás során a nélkülözhetetlen gének lemaradása helyett a telomerek egy szakasza vesz el.

A két ivari (X és Y) kromoszóma művészzi ábrázolása. A DNS azoknak a makromolekuláknak a belséjében tekeredik fel szorosan, amelyek minden sejt magjában megtalálhatók, a végeket pedig a telomerek zájják le.



Egy telomer hossza a sejt korát is jelzi. A sejtosztódás, illetve sejtműködés során mutációk és rendellenességek keletkezhetnek a DNS-ben. Ezek minden potenciálisan veszélyesek lehetnek, például bármelyikük vezethet a sejt elrákosodásához. Ha egy telomer már túl rövid, azt jelenti, hogy a sejt túl régi, és ebben a fázisban valószínűleg sok, az idők során kialakult, hibás DNS-t tartalmaz. Ilyenkor nem osztódik tovább, mivel az már az egész szervezet egészsége szempontjából potenciális kockázatokkal járna. A sejt életének abba a szakaszába lép, amelyet sejtörökedésnek nevezünk, amikor leáll a sejtosztódás.

A telomerek változása a generációkon át

A Földön előfordult tömeges kihalásokról alapos tanulmányok születtek, és ha nem is tárult fel teljes mértékben az okait, rengeteg elköpzelésünk van arról, hogyan és miért következhettek be, beleértve a jelentős mértékű környezeti változásokat és az aszteroidabecsapódásokat. Több mint egy évszázada azonban a tudósok érteletül állnak sok másik faj lassú, fokozatos kihalásával szemben a földi élet története során. A valaha létezett fajok 99%-a már rég kipusztult, de e kihalásoknak csak alig 4%-áért tehetők felelőssé a tömeges kihalási események. A fajok többsége nem egy aszteroidabecsapódás vagy a klímaváltozás miatt tűnt el; valószínűleg egyszerűen fokozatosan elfogytak a Föld színéről.

A kőzettminták is azt bizonyítják, hogy a fajok sokkal rendszerintenebbül alakulnak ki és tűnnek el, ahelyett hogy a Charles Darwin által leírt természetes szelekcionák megfelelően fokozatosan és folyamatosan tennék ezt. A történelem során hosszú időszakok teltek el úgy, hogy az evolúció látszólag megállt.

a fajok több mint 99%-a eltűnt,
ebből csak 40%ot tömeges kihalás következtében

Reinhard Stindl megvan győződve róla, hogy minden fajtól rejtelőre tudja a választ. Véleménye szerint a Föld története során a különböző fajok egészen addig boldogan éltek és gyarapodtak, amíg egyszer csak a drasztikusan megrövidült telomerek hatására a populációk váratlanul eltűntek.

Erre vonatkozó elméletét 2004-ben a *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolutionben* fejtette ki. „A fajok biológiai órájára vonatkozó hipotézis - írta Stindl - arra az elképzelésre épül, hogy a telomerek átlagos hossza generációról generációra fokozatosan rövidül. Ez a folyamat nem jelent azonnali veszélyt egy adott faj életben maradása szempontjából, mégis több ezer generációt követően a kritikus mértékben megrövidült telomerek okozhatják a régebben jelenlevő fajok meggyengülését vagy akár kihalását, és ezzel párhuzamosan kialakíthatják azt a labilis kromoszómakörnyezetet, amely végül új fajok kialakulásához vezethet.”

Mindez elképzelhető. A telomerek hossza nagyon is eltér a különböző fajok esetében - egyes madarakban közel 1 millió bázispár alkotja, míg az emberi sejtekben alig több, mint 10 ezer -, ami valóban igazolhatja Stindl hipotézisét a fajok biológiai órájáról.

Eszerint a telomerek kopása akár több százezer évig is eltarthat, ami magyarázattal szolgálhat a kőzettminták tanúsága szerinti hosszú, látszólag eseménytelen időszakokra az evolúció során.

Van-e rá mód, hogy megállítsuk ezt a folyamatot?

Ha Stindl elképzelései helyesek, vajon mit tehetünk a DNS-ünkben keztyegő biológiai órával?

A szervezetünkben termelődő telomeráz reverz transzkriptáz enzim, röviden telomeráz, a sejtosztódást követően kiegészíti a kromoszómák végét lezáró telomereket. Talán ha valahogyan serkenteni tudnánk a

telomerázenzim működését, lehetséges lenne megnövelni a magzati sejtekben található telomerek hosszát, s így megnőne a sejtek élet-tartama. Sajnálatos módon a felnőtt szervezet már alig vagy egyáltalán nem képes ilyen enzimet termelni.

A Dana-Farber Cancer Institute at Harvard Medical Schoolban dolgozó tudósoknak sikerült telomerázenzim befecskendezésével egereket megfiatalítaniuk. Az enzim hiányában az egerek - amelyeket ügy tenyészettek, hogy a felnőtt emberekhez hasonlóan ne termeljenek természetes úton telomerázt - a tűi korai öregedés tüneteitől szenvedtek, beleértve a szaglás gyengülését, az agy zsugorodását, a termékenység elveszítését, a belek és a lép károsodását. Amikor ezt követően egy hónapig telomerázinjekciókat kaptak, az öregedés tünetei csökkenni kezdtek az egerekben. Mindez azonban még nem bizonyít semmit, és súlyos következményekkel járna, ha az eljárást embereken is alkalmaznák, ugyanis a telomeráz fokozott használata ellenőrizetlen sejtosztódáshoz, azaz rák kialakulásához vezethet.

A telomerek ugyanakkor természetes módon is képesek megnövelni a saját hosszukat. A Stindl-féle populációk eltűnése során az állatok kisebb csoportjai továbbra is fennmaradhattak, és Stindl szerint a túlélők csoportján belül kialakuló beltenyészet hatására visszaállhatott a faj biológiai órája, majd ismét meghosszabbodhattak a telomerek. Egereken végzett kísérletek igazolni látszanak ezt az elképzelést: egy kisebb kezdő populációt belül intenzíven szaporították őket, aminek eredményeképpen jóval hosszabb telomerek alakultak ki a sejtjeikben, mint a kontrollcsoport egyedeiben.

Ezen kívül létezik még egy megoldás: a meditáció. A Shamatha-projekt keretén belül a San Franciscó-i Kaliforniai Egyetem tudósai azt

A fajok többsége nem egy aszteroidabecsapódás vagy a klímaváltozás miatt tűnt el, valószínűleg egyszerűen fokozatosan elfogytak a Föld színéről.

vizsgálták, mennyiben befolyásolják a telomereket a pszichológiai tényezők. Első eredményeik nagyon izgalmasan hangzanak: a coloradói Shambhala Mountain Centre három hónapos meditációs és relaxációs elvonulásán részt vevő látogatók sejtjeiben jelentősen megemelkedett telomerázenzim-aktivitást mértek. Ez jelentheti az első lépést a sejt-öregedés visszafordításának elérése és végül a test telomereinek meghosszabbítása érdekében.

Nem valószínű, hogy a közeljövőben megtaláljuk a módját, hogy biztonságosan és jelentős mértékben meghosszabbítsuk telomereink hosszát, a Shambhala-projekt résztvevői azonban erre valószínűleg azt felelnék, hogy a probléma természetének megismerése a legbiztosabb út a válasz megtalálásához.

Felriadsz álmodból, a tekinteted még homályos, a fejed pedig kótyagos. Ahogy kitisztul a látásod, kezdenek viszszatérni az emlékek. Az az élet, amit a Földön éltél - azon a bolygón, amelyet olyan jól ismersz milliárd lakójával, tudományos eredményeivel, művészettel, kultúrájával, politikájával, problémáival, borzalmaival és szépségeivel együtt -, nem volt több egy álomnál. Az egész csak a kézelet szüleménye. Fogalmad sincs róla, hogy mi a valóság.

Mindez csak
egy álom

L ármilyen elrugaszkođtnak is tűnik, az a gondolat, hogy az egész életünk csak egy álom, évezredek óta ihleti meg a gondolkodókat és a művészeket egyaránt: a régi kínai filzofustól, Csuang Cetől kezdve, aki azon tűnődött, hogy vajon ő is csak egy pillangó-e, aki éppen azt álmodja, hogy egy ember, a több millió dolláros hollywoodi bombasikerig, a *Mátrix* című filmig, amelyben futurisztikus gépek tartják fogva az embereket a mai modern világ álomszerű szimulációjában.

Mindez valahol érhető. Az álom az egyetlen olyan világ, amelyben ugyanúgy el tudunk merülni, mint a valóságban. Amikor álmodunk, nem tudunk róla. Még ha rövid időre is, de elhíssük, hogy római szekérhajtóból, repülő szuperhősök vagyunk, vagy hogy éppen Albert Einsteinnel vacsorázunk. Senki sem tudja, miért álmodunk, de mindenki vel előfordult már legalább egyszer életében, hogy annyira hihetőnek tűnt az álma, hogy képtelen volt megállapítani, vajon valóság volt-e vagy sem. Ugyanakkor ez az egyik legtermészetesebb, legismérősebb és mégis legmisztikusabb dolog, amit mindannyian megtapasztalunk nap mint nap.

Mesterséges álmok

Ha az álmok ennyire természetesek és részei az életünknek, miért ne lehetne mesterségesen is előidézni őket? Nick Bostrom filozófus és az Oxfordi Egyetem Az Emberiség Jövője Intézetének igazgatója szerint minden már csak idő kérdése. A szimulációhipotézis arra az alapgondolatra épül, hogy a jövőben a technológiai fejlődés nyomán a rendelkezésünkre álló hatalmas számítógépes kapacitást többek között arra is fel tudjuk majd használni, hogy a korábbi civilizációk és kultúrák végtelen számú kifinomult szimulációt futtassuk rajtuk.

Mindez azt a meghökkentő lehetőséget veti fel, hogy az agunk jelenleg is valahol a távoli jövőben futó számítógépes szimulációk ter-

méke. Egy kicsit ahhoz hasonlóan, ahogyan az emberek a Mátrixhoz kapcsolódnak, mi éppen azt gondoljuk, hogy 2011-ben élünk, holott a valóságban 2311-et írunk, az agyunkba pedig egy szimulált múlt képet táplálták be. „Ha ez valóban így van, akkor annak a kockázatával kell számolnunk, hogy a szimuláció bármikor megszakadhat - magyarázza Bostrom. - Amíg ezt a hipotézist nem cáfoljuk megfelelően... intellektuális értelemben tisztelességtelen lenne nem megemlíteni a szimuláció leállását mint a kihalás potenciális módját.”

A szimuláció típusai

Amikor hozzáérünk valami forró dologhoz, ujjunk hőérzékű receptorai azonnal jelzéseket küldenek az agyba, amely ezután elektromos jelek segítségével utasítást ad a kar izomzatának, hogy rántsa el a kezünket. A minden nap cselekedeteinket jellemző millió input és output a tudattalanban köt ki, többnyire elrejtve előlünk, miközben mi a hétköznapiainkat éljük. Agyunk gondolkodó része, amelyet képesek vagyunk tudatosan irányítani, ezeknek az érzékelő inputoknak csak egy töredékéről tud, és ez épp elegendő ahhoz, hogy ne legyen túlterhelve információval.

Az, hogy tudunk a bennünket körülvevő világról és a benne betöltött szerepünkről, az agysejtjeinkben keringő elektromos impulzusoknak köszönhető. Ezeknek az elektromos áramköröknek egy részét emlékekként, más részüket nyomásként érzékeljük, és még ennél is többet értelmezünk úgy, mint képi és hangeffektusokat. Ebben a világban hús, vér és csont alkotja a testünket, mindennek azonban csak az agyi áramkörökben keringő elektromosság révén vagyunk tudatában.

Mi történne, ha ezeket az impulzusokat mesterségesen is elő tudnánk idézni? Mi lenne, ha például egy beültetett számítógépes program segítségével a megfelelő pillanatban képesek lennének elektromosan

úgy stimulálni az agysejtjeinket, hogy az agyunk azt hinné, a testünk valójában egy virágos rét kellős közepén tartózkodik, és nem valahol egy számítógéphez kapcsolódva?

Ez az ún. agy a tartályban hipotézis, amelyet Dávid J. Chalmers filozófus a következőképpen ír le: egy „test nélküli agy lebeg egy tartályban egy tudós laboratóriumában. A tudós pont ugyanolyan inputokkal stimulálja, mint amilyet egy normális, testhez kapcsolódó agy szokott kapni. Ennek érdekében a világ egy óriási számítógépes szimulációjára kapcsolja rá, és ez határozza meg, hogy az agy minden bemenő információkat kap. Az általa létrehozott reakciók ezután visszataplálódnak a szimulációba. Az agy belső állapota ekkor pontosan megegyezik egy normális agyéval, annak ellenére, hogy nem tartozik hozzá test. Az agy szempontjából a dolgok pontosan ugyanolyannak tűnnek, mint számunkra.”

Az agyat nyilvánvalóan megtéveszti a szimuláció. Azt gondolja, hogy van teste, pedig valójában nem így van. Azt hiszi, hogy London egyik napsütötte parkjában sétálhat, pedig valójában egy sötét laboratóriumban csücsül valahol San Franciscóban. Az általa érzékelt valóság egyértelműen hamis, legalábbis a valódi valósághoz képest. Mindenesetre, az agy (és a hozzá tartozó személyiségek) ugyanolyan tisztán érzékeli a saját világát, mint mi a miénket.

Honnan tudjuk, hogy mi a valóság?

„Amikor felmerül a mátrix létezésének lehetősége, azonnal követi egy másik kérdés is. Honnan tudom, hogy nem a mátrixban vagyok? Végül is elképzelhető, hogy létezik egy agy a tartályban, amely éppen olyan, mint az agyam és ami rá van csatlakoztatva egy mátrixra, és az általa tapasztalt élményeket nem lehet megkülönböztetni attól, amit én jelenleg tapasztalok - magyarázza Chalmers. - Belülről képtelenség egy-

értelműen megállapítani, hogy nem egy »agy a tartályban« kísérletben veszek részt, így tehát azt sem tudhatom biztosan, hogy nem egy matrixban vagyok éppen.”

A szimulációnak éppen az a lényege, hogy nem tudjuk, hogy benne vagyunk. Ha a szimuláció tervezője jóindulatú lenne, és mégis tudatni akarná velünk, akkor rengeteg módon lehetné számunkra egyértelművé, mi is történik. „Például a szimuláció belül felugorhatna előttünk egy ablak azzal a felirattal, hogy »ÖN EGY SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓBAN ÉL. TOVÁBBI INFORMÁCIÓKÉRT KATTINTSON IDE«. Sőt akár meg is mutathatnák nekünk a valóságnak azt a másik, magasabb szintjét” - magyarázza Bostrom. Esetleg egy nap fontos indirekt bizonyítékot találnánk erre, például arra, hogy képesek vagyunk létrehozni a saját tökéletes szimulációkat.

És mi van, ha a szimuláció megalkotói mégsem jóindulatúak? Csak abban reménykedhetünk, hogy a kísérlet nem annyira tökéletes.

Elképzelhető, hogy a miénkhez az utolsó apró részletig hasonlító, tökéletesen szimulált univerzum létrehozása akkora számítógépes teljesítményt igényelne, hogy még a jövőbeli civilizációk képességeit is meghaladná. Egy szimuláció szempontjából azonban közel sem elengedhetetlen feltétel, hogy mindenre kiterjedjen annak érdekében, hogy képes legyen megtéveszteni az agyunkat. A szimulált kéznek nem kell pontosan ugyanúgy kinéznie és felépülnie, mint egy valódnak, hacsak nem egy mikroszkópot akarunk beállítani rajta. Ez utóbbi esetben pedig elegendő lenne a szimulációnak csak ezt a bizonyos részét megtoldani, ami nem okozna nehézséget. Más szóval, a részletek csak akkor kerülnek elő, ha valaki jobban odafigyel.

„Előfordulhat, hogy a kísérleti eredményeink egy részét talán csak a szimuláció megalkotói hamisították bele a szimulációba, hogy továbbra is titokban tarthassák a műveletet, és egy ilyen hamisítás bizonyul a leghatékonyabb módszernek az eltitkolásra - fejti ki Bostrom. - Gondoljunk csak arra, amikor álmodunk, az agyunk képes rá, hogy

ne legyünk ennek tudatában. Ha a saját agyunk képes erre, akkor egy technológiailag rendkívül fejlett szimulációépítő számára feltehetően gyerekjáték lenne ugyanezt a megtévesztő hatást elérni."

Sokkal igéretesebb módszer annak kiderítésére, hogy egy szimulációban élünk-e, ha a program működési zavarait és hibáit keressük. Ezek csodákként vagy paranormális jelenségekként nyilvánulhatnak meg a környező világban, esetleg olyan dolgokként, amelyek dacolnak a fizika ismert törvényeivel. Azonban ennek a stratégiának is megvan-nak a gyenge pontjai: a szokatlan dolgok észlelése még nem bizonyító erejű, és egy lelkes szimulációépítő egyszerűen kitöröné mindenkinél az agyat a szimulátorból, aki elszántan keresi a rendszer hibáit.

Számít valamit, ha az egész csak álom?

Chalmers szerint elképzelhető, hogy valahol egy sötét szobában sora-kozó, tartályokban lebegő agyak vagyunk, de a gondolataink nagyon is valóságosak. Talán ektoplazma állapotú, test nélküli agyak vagyunk a téridőn kívül. „Amikor azt gondolom, hogy kint sétállok a napsütésben, talán egy angyal az ektoplazma állapotú agyamra pillantva megje-gezheti, hogy valójában semmiféle fény nem éri. Akkor a gondolatom helytelen? Természetesen nem: attól, hogy az agyam nem így tesz, még sétálghatok a napsütésben. Az angyal tévedne, amikor arra követ-kezettel, hogy az én gondolatom hibás. Hasonlóan, nem vonhatjuk le azt a következtetést, hogy egy tartályba zárt lény bármilyen helytelenül gondol.”

A tanulság az - folytatja -, hogy az agyunk közvetlen környezete akár lényegtelen is lehet a gondolataink többségének igazságtartalma szempontjából. Sokkal fontosabbak az agyunkhoz kapcsolódó folyamatok, vagyis azok az érzékelő és motorikus inputok, amelyek létrehozzák benne a valóság illúzióját. Egyébként is, minden egyéb lényegtelen.

Több tízezer évvel ezelőtt őseink bizonyos jeleket rajzoltak a barlangok falaira. Bölényeket, elefántokat és a rájuk vadászó embereket vésték a kőbe és festették meg. Egyesek absztrakt szimbólumokat hagytak hátra a sziklákon, mások a tenyerük tisztán kivehető nyomait. Több ezer év elteltével még mindig láthatók az általuk hátra-hagyott rajzok.

Az információ kihalása

z idők során az emberek sokféle módon igyekeztek lejegyezni tudásukat és elmesélni történeteiket. Alig pár évezreddel ezelőtt a babiloniák agyagtáblákon jegyezték fel az égitestek mozgását, és ez az információ a mai napig érintetlenül fennmaradt. Talán időbe telik, míg megfejtjük, hogy mit is akarnak mondani nekünk, de ezeket a szimbólumokat látva megtudhatunk pár dolgot arról is, őseink hogyan éltek.

Több ezer vagy több tízezer év múlva leszármazottaink vajon mit fognak tudni rólunk? Hatalmasabb tudással rendelkezünk jelenleg, mint az őseink valaha, és valószínűleg egy év leforgása alatt több ismeretet halmozunk fel, mint amennyire az elődeink egy évszázad alatt képesek lehettek volna. Számtalan módon rögzítjük mindezt - papíron, festményen, de leginkább elektronikus úton.

Mi történne, ha a Földet magával rántaná egy katasztrófa, amelynek során a tudásunkat tároló számítógépek is mind veszélybe kerülnek? Esetleg örökre felmondaná a szolgálatot az áramhálózat, vagy a világ népességének nagy részét elpusztítaná egy vírus, és senki nem maradna, aki a gépeket karbantartaná? Ha több tízezer év múlva el szeretnénk mesélni a XXI. század történetét, leszármazottaink vajon milyen információkhöz fognak hozzáférni?

Ha addigra teljesen megfeledkeznének rólunk, akkor ugyan nem jönne el a világ vége fizikai értelemben, de mindenkiéppen az általunk ismert világ végét jelentené.

Modern emlékeink

Az emberiség történetének példa nélküli időszakát éljük, amelyben minden az információ irányít, és amelyet bonyolult számítógépes hálózatok, kapcsolók és adatkapcsolatok működtetnek. Ez a legutóbbi fejlemény abban a képességünkben, hogy bonyolult tudásunkat egyik embertől a másikig, egyik helyről a másikra, egyik generációról a következőre át tudjuk adni, és ez döntő volt abban, hogy a bolygó legmeghatározóbb fajává váljunk.

Ahhoz, hogy oda jussunk, ahol most vagyunk, kollektív emlékezetre volt szükségünk, olyasmire, amihez az egész emberiség hozzáférhet és bővítheti is azt. Először csak kőtáblák jártak kézről kézre egy szűk csoporton belül, aztán jött a papír és az írás, majd a könyvek, ma pedig már a merevlemezekenél tartunk. Amíg a múltban létrehozott módszeres feljegyzések elsősorban hivatali, jogi vagy egyházi dokumentumok voltak, addig ma egyre több minden rögzítünk, ráadásul egyre gyakrabban.

„A digitális forradalom átalakítja a személyes archiválás természetét is: a digitális állományok megőrzésének módszereitől kezdve az

utókor számára fennmaradó életrajzokig - nemcsak a gazdagoké és a híresekké, hanem gyakorlatilag mindenkié, aki részt vesz a digitális korban" - állítja Jeremy Leighton John, a Brit Nemzeti Könyvtár (British Library) eMANUSCRIPTS programjának kurátora. Elmondása szerint amiőt az 1970-es években megjelentek az első személyi számítógépek, egyre több ember hagyja hátra az eljövendő generációk számára az életére vonatkozó adatokat digitális formában. Az elektronikus merevlemez vált kollektív emlékezetünk hordozójává. Egy átlagos modern háztartáson belül több is van belőlük, és százával sora-koznak a tudományos laboratóriumokban is: összesen több milliárd létezik belőlük világszerte.

Ezeken a lemezeken található minden velünk kapcsolatos információ - történetek, fényképek, naplók, adatok, regények, banki kimutatások, filmek, tudományos tételek - teljes egészében vagy töredékesen. Nagy részük ráadásul személyes: a Nemzetközi Adatközpont (International Data Corporation, IDC) becslései szerint a XXI. század első évtizedének végére a világ digitálisan tárolt információinak kb. a 70%-át személyek hozzák létre és nem szervezetek.

A gond az, hogy a merevlemezeket nem úgy terveztek, hogy nagyon hosszú ideig képesek legyenek tárolni az adatokat, és senki nem tudja igazán, hogy értékes tartalmukkal együtt nem sérülnek-e meg idővel. A technológia fejlődésének következtében minden évben egyre kisebbek, vékonyabbak és nagyobb kapacitásúak, azaz egyre több információ tárolására alkalmasak. Ez hasznos, ha kisebb számítógépre van szükségünk, vagy ha olyan dolgokba szeretnénk memóriát beépíteni, ahol eddig nem voltak (például a telefonba vagy a hűtőszekrénybe). Azonban adódnak problémák is ezzel kapcsolatban - minél kisebb egy lemez, annál több in-

Ha több tízezer év múlva el szeretnénk mesélni a XXI. század történetét, leszármazottaink vajon milyen információkhöz fognak hozzáférni?



Óskori sziklarajzok az algériai Tassili N'Ajbernél. Több ezer éven át fennmaradtak, hogy eljuttassák üzenetüket a ma emberének. Vajon a mi információtároló eszközeink képesek lennének erre?

formáció fér el egy négyzetcentiméteren, és annál több információ vész el, ha esetleg megsérül.

A merevlemezeken tárolt fontos információkról gyakran készítenek biztonsági másolatot mágnesszalagra vagy optikai lemezre, mint amilyenek például a CD-k vagy DVD-k. De ezek a formátumok sem sokkal megbízhatóbbak. A tesztek alapján a legjobb minőségű lemezekről is az derült ki, hogy legfeljebb egy évszázadig maradhatnak meg épségben. A legolcsóbb CD-k 5-10 évig bírják, mielőtt kezd elveszni, vagy megsérülni a rajtuk tárolt információ, és sérülékenyebbe válnak.

Az információáradat pedig nem áll meg. „A jövő generációi akár mindenre kiterjedő videó- és GPS-felvételekkel rendelkezhetnek majd

az életükről, amelyek még az olyan neurológiai és pszichológiai paramétereket is tartalmazni fogják, mint a pulzus, hogy a személyes DNS-szekvenciát ne is említsük - magyarázza John. - Azokat a bionikus eszközöket, amelyek részben helyreállítják, továbbfejlesztik és kiterjesztik majd az egyén testi és érzékelőképességeit, digitálisan szabják személyre, akárcsak a jelenlegi digitális hallásjavító készülékeket. A személyes gyártók (Personal Fabricators, FAB) mindenki számára lehetővé teszik, hogy hasznos vagy puszta dísztárgyat hozzanak létre saját maguknak. Sokan már ma is önmaguk virtuális másolatán keresztül lépnek kapcsolatba egymással az online játékok világában, amit a jövőben továbbfejlesztenek vizuálisan, és kibővítik érintési, ízlelési és szaglási funkciókkal is. Vajon mi lesz a sorsa ezeknek a digitális megjelenési formáknak hosszú távon?"

Vajon mekkora veszteséggel járna, ha ez a rengeteg információ hozzáférhetetlenne válna a jövőben? A minden nap életükről a Twitteren, a Facebookon és a Flickrén közölt részletek valószínűleg nem különösebben fogják érdekelni a 20 ezer év múlva élő embereket. Hasonló a helyzet a fennmaradt ősi kéziratokkal és kötbőlkönyvekkel is - ezek szintén elsősorban történelmi jelentőségük és nem az általuk tartalmazott információk miatt fontosak.

Mi fog történni a genomszekvenciálás adataival, amit olyan türelmesen gyűjtöttünk az elmúlt évtizedek során? Mi lesz a nagy hadronütköztető gyűrű feldolgozatlan adataival, amelyeket évekig lehetne kutatni, hogy még jobban megértsük és megmagyarázzuk a fizika törvényeit? Mi a helyzet a repülőgépek, számítógépes áramkörök és rádióadók részletes tervezésével? Mi lesz a sorsuk nagyszerű regényeinknek és az életünket leíró történeteknek?

Üzenetek a jövőnek

A tudás megőrzésével kapcsolatban felmerül egy másik probléma is: mégpedig a nyelv. Vajon mi megértenénk a 10 ezer évvel ezelőtt élt emberek beszédét? Valószínűleg nem. Akkor ki a megmondhatója, hogy a jövő embere érteni fogja-e a ma használatos nyelveket? Ezzel a problémával néznek szembe azok a tudósok is, akik az atomerőművek több százezer évig **radioaktívan** sugárzó hulladékának biztonságba helyezéséért felelősek. Olyan jelzéseket kell elhelyezniük ezeknek a nukleáris hulladéklerakó helyeknek a közelében, amelyek az ott található anyagok veszélyeire hívják fel a figyelmet, miközben kicsi a valószínűsége annak, hogy az emberek 500 generáció múlva érteni fogják a nyelvünket vagy a szokásainkat.

Mi fog történni a genomszekvenciálás adataival, amit olyan türelmesen gyűjtögettünk az elmúlt évtizedek során? Mi a helyzet a repülőgépek, számítógépes áramkörök és rádióadók részletes tervrajzaival? Mi lesz a sorsuk nagyszerű regényeinknek és az életünket leíró történeteknek?

Manapság a különböző népek még egymással is alig képesek megértetni magukat, nemhogy a több ezer év múlva élő emberekkel. A vörös szín veszélyt jelent az egyik kultúrában, de a szerencsére utal a másikban, egy csúszó-mászó gusztustalannak és ijesztőnek tűnhet az egyik helyen, azonban ízletes falat egy másik országban. A tudósok végül az arckifejezéseket hívták segítségül az atomhulladékot illetően: Edvard Munch *A Sikoly* című híres festménye feltételezhetően mindenki számára ugyanazt jelenti ma és (remélhetőleg) a jövőben is.

Az atomtudósoknak ki kell találniuk, hogy mik azok a jelek, amelyek nagy valószínűséggel a távoli jövőben élő emberek számára is értelmezhetők lesznek.

Tudományos örökségünk

Az adatarchívumok megőrzése a jövő számára csak nemrég vált a tudományos intézmények elsődleges céljává. Es nem egyszerűen csak a kíváncsiság miatt: a jövőben egyre fontosabb lesz a tudósok számára, hogy hozzáférhessenek a nyers, feldolgozatlan adatokhoz, hogy alávetessék azokat a legújabb elemzéseknek, új tételeket igazolhassanak a segítségükkel, vagy bizonyítékot keressenek a tudományos tévedések, csalások cáfolatához a régebbi adatbázisokban.

Vegyük például az LHC-t Genfben! A tervezett, 15 évig tartó kísérletek során közel 500 millió gigabájt adat keletkezik, és ezt a hatalmas adathalmazt lemezeken és szalagokon fogják tárolni, amelyekhez egy 100 ezer számítógépből álló hálózaton keresztül fognak hozzáférni a világ tudósai. Azt az információtechnológiai projektet, amely lehetővé teszi ennek a hatalmas mennyiséggű adatnak a tárolását és rendezését a CERN-ben, már évtizedek óta tervezik, ennek ellenére nem sok elkövetelés van arról, hogyan lehet majd ennyi információt tárolni az LHC 2020-as évek elejére tervezett lekapcsolását követően.

Az egyik megoldás, hogy az adatok minél tovább sértelesenől maradjanak, hogy átmásoljuk őket az egyik lemezről vagy szalagról egy másikra is, azaz biztonsági másolatot készítünk róluk. Ilyen hatalmas adattömeg esetén azonban, mint amilyen például az LHC- és a génszekenciálási projekt során keletkezik, ennek a módszernek a rendszeres alkalmazása megnöveli az információkat károsító hibák előfordulásának kockázatát is.

Az emberek is rendszeresen ide-oda másolják a fájlokat a személyi számítógépeiken. Elképzelhető, hogy utódaink a jövőben nagyobb valószínűséggel fognak rábukkanni egy ősrégi merevlemezen Michael Jackson valamelyik albumára, mint például az általános relativitáselméettel foglalkozó legfrissebb tanulmányra, esetleg egy dokumentum-

ra arról, hogyan nyerjünk ki fémeket a föld mélyéről vagy készítsünk el alapvető gyógyszereket.

A másik biztonsági megoldás kifejezetten régimódi: tároljunk minél több információt papíron. A legrégebbi fennmaradt könyv, amelyet Kínában egy barlangban találtak meg, Kr. u. a IX. századból származik. Ha a könyveket megfelelő körülmények között tárolják, például távol az éhes rágcsálóktól, akkor még az is lehetséges, hogy (a bennük olvasható információval együtt) akár ezer évig is épségben maradnak, vagy még tovább.

Egy ennél is módszeresebb megoldást talált ki a kaliforniai székhegyű Long Now Alapítvány A könyvek helyettesítésére a Rosetta Disket használják: ez egy nikkelből készült korong, amelyre lézerrel rögzítették 1000 nyelv leírását. Az egyik oldalába olyan szöveget véstek, amely olvasható betűmérettel kezdődik, majd fokozatosan egészen nanoméretűvé (a méter milliárdod részévé) válik. A lemez másik oldalán 14 ezer oldal szöveg szerepel, amely a mellékelt nagyító segítségével olvasható el. Az alapítvány szerint ez a lemez évezredeig olvasható marad.

Manapság fürdünk az információban. Annyira könnyedén, szinte egy kattintással kapcsolódik az életünk egymáshoz és a világhálón fel-lehető végtelen információhoz, hogy azt hisszük, ez mindig is így lesz. Ebben az elektronikus világban gyökeresen megváltozott, hogy mit tartunk meg az emlékezetünkben és mit nem, ami nem feltétlenül válik a kárunkra - jóval nagyobb tudáshoz van hozzáférésünk ma, mint szüleinknak és nagyszüleinknak valaha is volt. Miközben azonban átalakul a gyakorlat, hogyan és mire emlékszünk, arról sem szabad megfeledkeznünk, és fel kell készülnünk rá, milyen lehet hirtelen minden elfelejteni.

Fogalmunk sincs arról, mi az, amit nem tudunk. A múlt lángelméinek soha eszükbe nem jutott volna egy atomháborúnak vagy a klímaváltozásnak még a gondolata sem, nemhogy a veszélyei. A mai zseniknek pedig fogalmuk sem lehet arról, milyen tudást (és vele járó kockázatokat) hozhat a jövő.

Ismeretlen ismeretlenek



Ot hónappal a 2001. szeptember 11-ei terrortámadást követően, amely több ezer ember életét oltotta ki a New York-i World Trade Center és a Virginia állambeli Pentagon épületénél, Donald Rumsfeld, az Egyesült Államok külügyminisztere a sajtó képviselői előtt az Amerikát fenyegető veszélyekről beszélt. Éppen az iraki rezsimről volt szó, amikor az egyik riporter jelentkezett, hogy kérdést tegyen fel, majd a következő párbeszéd vette kezdetét:

KÉRDEZŐ: Ami Irakot, a tömegpusztító fegyvereket és a terroristákat illeti, van arra vonatkozó bizonyíték, hogy Irak megpróbálta volna, vagy hajlandó lenne tömegpusztító fegyverekkel támogatni a terroristákat? Mert egyes jelentések szerint semmiféle bizonyíték nem létezik arra, hogy közvetlen kapcsolat lenne Bagdad és ezek között a terroristaszervezetek között.

RUMSFELD: Azok a jelentések, amelyek arról szólnak, hogy mi nem történt, azért érdekesek számomra, mert mint tudjuk, vannak ismert dolgok, amikről tudjuk, hogy tudunk róluk. Azzal is tisztában vagyunk, hogy léteznek ismert ismeretlenek: azaz tudjuk, hogy vannak dolgok, amikről nem tudunk. Léteznek azonban ismeretlen ismeretlenek: azok a dolgok, amelyekről azt sem tudjuk, hogy nem tudunk róluk. És ha valaki ennek az országnak és más független államoknak a történelmét végignézi, akkor általában ez a legutóbbi kategória az, ami a legtöbb nehézséget okozza.

Rumsfeldet sok kritika érte e miatt az „ismeretlen ismeretlenek” megjegyzése miatt. Felesleges szócséplés lett volna, vagy így akart eltérni a tárgytól? Nem egészen. Veszélyek és katasztrófák számbavétele esetén egyetlen vita sem lehet teljes anélkül, hogy megemlítenénk az ismeretlen tényezőket. És ezeken belül is az arrogancia és önteltség csúcsa lenne nem beismerni, hogy vannak olyan dolgok, amelyekről tudjuk,

hogy nem tudunk róluk, és legvégső soron számos olyan dolog is létezik, amelyekről azt sem tudjuk, hogy nem tudunk róluk.

„Szükségünk van egy minden egyebet magában foglaló kategóriára - magarázza Nick Bostrom. - Balgaság lenne azt gondolni, hogy már minden jelentős kockázatot számba vettünk és felkészültünk rá. A jövőbeli technológiai és tudományos fejlesztések következtében a világ elpusztításának egészen új lehetőségei feltárulnak.”

Megjósolni a megjósolhatatlant

Vegyük például Nyugat-Európa legnagyobb gondolkodóit a felvilágosodás korában - ilyen például Isaac Newton, Francis Bacon és George Berkeley püspök -, és képzeljük el, hogy feltezzük nekik a kérdést: szerintük hogyan fog véget érni a világ? Valószínűleg meséltek volna az isteni beavatkozásról (Newton hitt benne, hogy a végítélet valamikor a XXI. században fog bekövetkezni, amit a Bibliában szereplő utalások alapján számított ki), és néhányan előhozakadtak volna egy véres háború lehetőségével, amely olyan sok áldozatot követelne, hogy a nemzetek egyszerűen képtelenek lennének utána újra talpra állni, és lassan eltűnnének a Föld színéről. Talán komolyan fontolóra vettek volna más bizarr elméleteket is, de a rendkívül okos emberek közül egyiknek sem jutott volna eszébe egy atombomba végzetes ereje. Vagy egy aszteroidabecsapódás. Vagy a klímaváltozás hatására bekövetkező tengerszint-emelkedés.

300 évvel ezelőtt jóval kevesebbet tudtunk a tudományról, és még kevesebbet a bennünket körülvevő vilagról és az univerzumról. A tudással kéz a kézben jár a hatalom, és végül annak megértése is, hogy újabb és újabb veszedelmek leselkednek ránk.

A létünkkel fenyegető kozmikus veszélyek mindig is léteztek, csak ezekről eleinte nem volt információink: mit sem tudtunk korábban a

fekete lyukak létezéséről vagy arról, hogy galaxisunk összeütközhet az Andromédával. A kozmikus fenyégetések egyik közös jellemzője, hogy még akkor sem nagyon tehetünk ellenük semmit, ha tisztában vagyunk a veszélyeikkel - kivéve, ha megpróbáljuk kitalálni, hogyan élhetnénk túl a következményeket.

Más fenyégetések viszont egyszerűen csak az önuralmunkon műlnak. Ezek olyan veszélyek, amelyeket mi magunk idéztünk elő ismereteink felhasználásával, a bennünket körülvevő világ manipulálásával és azzal, hogy a megszerzett tudásunkat kizárálag a saját céljaink elérésére fordítjuk - kiváló példái ennek a nukleáris fegyverek és a klímaváltozás. Mindkét esetben az emberi cselekedetek következtében jönnek létre a kockázatok, és ezek segíthetnek a katasztrófa elkerülésében is.

Ugyancsak megszerzett tudásunk vezethet az egész világot érintő, előre nem látható újabb problémák felmerüléséhez. Mihez kezdjünk azonban mindezzel?

A hadsereg az a szervezet, amely kiválóan ért az elgondolhatatlan események kigondolásához és megjósolásához. A Pentagonban a parancsnokok az ún. *bomlasztó hatású fenyégetésekkel* is foglalkoznak: ezek olyan fegyverek és taktikai megoldások, amelyek váratlanul, a semmiből érkezve képesek felborítani a hatalmi egyensúlyt a harc során. Ilyen volt például a vártnál korábban, 1949-ben felrobbantott szovjet atombomba, illetve a Szputnyik-1, a világ első Föld körüli pályán keringő műholdjának fellövése. A Pentagon és a Fehér Ház elemzői a következő, jövőben váratott bomlasztó hatású fenyégetéseket azonosították be: olyan fegyverek, amelyek „biotechnológiát alkalmaznak, informatikai és űrhadműveletek, illetve irányított energiafegyverek” vagy olyanok, amelyek képesek lelőni a támadóerők rakétáit és harci repülőgépeit.

Az információ korában egyre nehezebb megjósolni, hogy az újabb komoly problémák honnan fognak eredni. Az Egyesült Államok a múltban talán egy nukleáris armageddon miatt aggódott a leginkább,

de mindenkor tisztában volt vele, hogy a Szovjetuniónek rengeteg munkaerőre és többéves tesztelésre volt szüksége ahhoz, hogy összeállítson egy jókora méretű rakétaüzemet. A háborúk ma már online törnének ki, mégpedig nagyon gyorsan; egyszerűen nem lenne idő a méregdrága, vadonatúj fegyverek megépítésére és tesztelésére várni. Egy ilyen online végítelet-foratókönyv szerint mire a hadsereg ráébredne, hogy támadás érte, már túl késő lenne bármit is tenni ellene.

Fekete hattyúk

Létezik más megközelítése is az ismeretlen ismeretlenek elméletének. Nassim Nicholas Taleb közigazdász *The Black Swan* (A fekete hattyú) című könyvében a jelentős következményekkel járó nagy meglepetéseket veszi számba. Kiemelte azoknak az eseményeknek a jelentőségét a történelem során, amelyeket nehéz lett volna előre megjósolni, jelentős hatásuk volt, ritkán fordultak elő és jócskán meghaladták a történelem, a tudomány és a gazdaság korabeli elvárásait. Ezeknek az ún. fekete hattyúknak a listáján szerepel többek között: az internet megjelenése, az I. világháború és a 9/11 terroristatámadásai. Taleb idesorolja a tudományos felfedezések és jelentős művészeti teljesítmények többségét is.

„Ausztrália felfedezése előtt az óvilág lakói azt hitték, hogy minden hattyú fehér, s ez egy olyan támadhatatlan gondolat volt, amelyet, úgy tűnt, teljes mértékben alátámasztanak a tapasztalatok - írta Taleb. - Az első fekete hattyú megpillantása ehhez képest először különös meglepetést okozhatott néhány ornitológusnak (és azoknak, akiket megszállottan érdekeltek a madarak színe), de a történet jelentősége nem ebben rejlik. A megfigyelésen és tapasztaláson alapuló tudás komoly korlátait és gyenge pontjait illusztrálja. Egyetlen észlelés hatására összeomolhat egy általánosan érvényesnek gondolt megállapítás, amelyet millió fehér hattyú megerősítő megfigyelése alapján alkottunk meg. Mégis ele-

gendő egyetlen (ráadásul állítólag nem is túl szép) fekete hattyú, hogy mindenre rácáfoljon."

Taleb szerint a feketehattyú-eseményeknek általában három jellemző tulajdonságuk van. Először is elkülönült, előzmények nélküli dolognak kell lennie, olyasminek, ami meghaladja a hétköznapi elvárásainkat, és amelyhez nem köthető múltbeli esemény. Másodszor, messzemenő következményekkel kell járniuk. Harmadszor pedig, valami olyasminek kell lenniük, ami miatt az emberi természet kénytelen racionalizálni a továbbiakban bekövetkező eseményeket.

„A fekete hattyúk egy része képes a világon szinte mindenre magyarázattal szolgálni, az eszmék és vallások sikerétől a történelmi események változásain keresztül a saját személyes életünket meghatározó eseményekig - állítja Taleb.

Nem különös azt látni, hogy valami éppen azért következik be, mert nem lett volna szabad megtörténnie? Hogyan lehetne ezt kivédeni?

- Amióta csak elhagytuk a pleisztocén kort nagyjából 10 ezer évvel ezelőtt, ezeknek a fekete hattyúknak a hatásai egyre fokozódtak. Az ipari forradalom idején kezdett felgyorsulni, ahogy

a világ egyre összetettebbé vált, miközben azok a hétköznapi dolgok, amelyeknek a tanulmányozásával, megvitássával a legtöbbet foglalkozunk, illetve próbáljuk megjósolni őket az újságban olvasottak alapján, egyre lényegtelenebbé válnak."

Taleb szerint, ha a 9/11-i rémtett lehetősége előző nap felmerül, valószínűleg az egész be sem következik. „Ha egy ilyen esemény lehetősége kellő figyelmet kapott volna, akkor vadászrepülők hada köröz az ikertornyok felett a levegőben, a repülőgépeket golyóálló ajtókkal szerelik fel, és a támadások egész egyszerűen meghiúsultak volna. Valami egészen más történt volna helyette. Hogy micsoda? Nem tudom. De nem különös azt látni, hogy valami éppen azért következik be, mert nem lett volna szabad megtörténnie? Hogyan lehetne ezt kivédeni?

Bármi is legyen az, ami a tudomásunkra jut (például hogy New York könnyű terroristacélpont), abban a pillanatban lényegtelenné válhat, az ellenség tudomást szerez arról, hogy tudunk róla. Különös felismeréssel járhat egy effajta stratégiai játékban, hogy amiről tudunk, az valójában éppen azáltal válik lényegtelenné."

Ugyanez előfordulhat az üzleti életben és a tudományos elképzélések esetében is. Ha egy sikeres étterem kialakításának titkos receptje futótűzként terjedne el, akkor az utcában mindenki alkalmazni kezdené; az igazán nagy ötlet az lenne, amiről az étterem-tulajdonosok többségének fogalma sem lenne. „Ugyanez vonatkozik a cipő- és a könyvpiacra, illetve bármelyik vállalkozói területre. És természetesen ugyanígy működnek a tudományos elméletek is: senkit sem érdekelnek a közismert, nyilvánvaló dolgok. Egy vállalkozás sikere általában fordítottan arányos a vele szemben támasztott várakozásokkal.”

Taleb szerint ha a 2004 decemberében bekövetkezett indiai-csendes-óceáni cunami előre látják, nem okozott volna akkora károkat. „Az érintett területeket kiüríthették volna és létrehozhattak volna egy korai figyelmeztető rendszert. Amiről előre tudunk, az nem tud akkora kárt okozni nekünk.”

Mindezek ellenére mindannyian úgy viselkedünk, mintha a tudásunk és történelmi ismereteink felhasználásával képesek lennének előre megjósolni az eseményeket. „Harmincéves előrejelzéseket gyártunk a társadalombiztosítási hiányra és az olajárakra vonatkozóan, és közben nem tűnik fel, hogy azt sem tudjuk megmondani, mi lesz ezekkel a jövő nyáron. A politikai és gazdasági eseményekre vonatkozó összesített előrejelzéseink mellényülásai olyan éktelenül nagyok, hogy valahányszor a tényadatokat tartalmazó jelentésekre pillantok, meg kell csípnem magamat, vajon nem álmodom-e. Nem az előrejelzésekben szereplő tévedéseink nagysága a meglepő, hanem a velük való szembe-sülésünk teljes hiánya.”

Az egyik megoldás az lehet, ha végre szembenézünk azzal, hogy képtelenek vagyunk előre megjósolni minden, és ehelyett inkább készen állunk valami teljesen váratlan doogra. A múltban bekövetkezett, előre nem látott feketehattyú-események nemcsak egyszerűen megdöbbentők és hatalmas jelentőségűek voltak, hanem rengeteget mesélnek nekünk az emberi természetről is és arról, hogyan tanulunk a történelemből. Amikor feltezzük a kérdést azokra az előre nem látható eseményekre vonatkozóan, amelyek térdre kényszeríthetik az egész világot, talán érdemes kicsit hátralépnünk és elgondolkodnunk magán a kérdésen.

„Nem önszántunkból jövünk rá, hogy »sosem tanuljuk meg, hogy sosem tanulunk«. A probléma a gondolkodásunk struktúrájával van: nem szabályokat, hanem tényeket, kizárolag tényeket sajátítunk el. Úgy tűnik, a metaszabályok (például az, hogy hajlamosak vagyunk nem el-sajátítani a szabályokat) megértése nem megy valami jól nekünk. Elutasítjuk az absztrakciót, méghozzá szenvedélyesen” - állítja Taleb.

Ez a viselkedés mélyen az állati múltunkban gyökerezik - az elmélkedés és önelemzés nem túl hasznos az óskori Afrika szavannáin élő állatok számára, amikor a túléléshez csak annyi kell, hogy időben észrevegeyék és elfussanak az oroszlánok elől. „Ne feledjük, hogy a gondolkodás időigényes tevékenység, ráadásul rengeteg energiát pazarolunk rá. Az őseink több mint százmillió évet töltötték nem gondolkodó emlősökként, és a történelemnek e villanásnyi pillanata alatt, amely során az agyunkat használjuk, olyan dolgokra használjuk, amelyek túlságosan lényegtelenek ahhoz, hogy igazán számítsanak. Bizonyítékok vannak rá, hogy jóval kevesebbet gondolkodunk, mint hisszük - kivéve természetesen, amikor ebbe belegondolunk.”

Nincs rá válasz, hogyan készülhetnénk fel az elgondolhatatlanra, de Taleb leckéjét megtanulva, még mindig jobb, ha tisztában vagyunk mindezrel és igyekszünk felhasználni az erre vonatkozó tudásunkat is. A múlt sajnos egyáltalán nincs a segítségünkre, amikor azt próbáljuk kitalálni, hogy a világ milyen váratlan módonk érhet véget.

Köszönet-nyilvánítás

z a könyv nem jöhett volna létre a *Guardian*\ dolgozó kollégáim éveken át tartó ösztönzése és bátorítása nélkül. Sok itt szereplő ötlet azokon a beszélgetéseken alapul, amelyeket az évek során ezzel a figyelemre méltó csapattal folytathattam. Köszönettel tartozom a következő embereknek: Emily Wilson, Ian Sample, Dávid Adam, James Rander-son, Tim Radford, Andy Duckworth, Sarah Boseley, Juliette Jowit, John Vidal, Simon Rogers, Clare Margetson, Mike Herd, Ben Goldacre, Ro-bin McKie, Ian Katz, Alan, Rusbridger, Janine Gibson, Chris Elliott, Nell Boase és James Kingsland.

Valahányszor tudományos folyóiratokból vagy könyvekből merítettem az ötleteket és gondolatokat, mindig igyekeztem a legjobb tudá-som szerint megemlíteni az érintett szerzőket a fejezeteken belül. A kö-vetkező embereket azonban külön köszönet illeti a rengeteg segítségért és támogatásért, amelyet tőlük kaptam: Ruth Francis, Kate Ravilius, Geoff Brumfiel, Roger Highfield, Deborah MacKenzie, Fred Pearce, Ro-wan Hooper, Anil Ananthaswamy, Paul Davies, Bili McGuire, Louise Crane és Philip Ball. Ugyancsak hálás vagyok a *Scientific American*, a *New Scientist*, a *Discover* és a *Wired* folyóiratok szerkesztőinek és szer-zőinek, hogy megosztották velem a könyvben szereplő néhány nehe-zebben emészthető elméletről kulcsfontosságú meglátásaikat és ma-gyarázataikat.

Mind ismerjük a tudományos-fantasztikus irodalomból a világurá-lomra törő szuperszámítógép ötletét. Az eredetileg az emberek életének jobbá tételere programozott gép egyszer csak felismeri saját képességeinek és technológiájának felsőbbrendűségét a közönséges, hús-vér életformák felett, a katasztrófa kitörése pedig már csak idő kérdése.

Képek forrása

1 Shutterstock/Fesus Robert; 2-3 Shutterstock/lafoto; 4 fent Shutterstock/Pan Xunbin; 4 lent balra Shutterstock/PLRANG; 4 lent jobbra Shutterstock/Bychkov Kirill Alexandrovich; 5 fent Quercus Publishing Plc/Tim Brown; 5 középen Science Photo Library/Mike Agliolo; 10-11 Quercus Publishing Plc; 17 Shutterstock/PLRANG; 27 Corbis/John Springer Collection; 33 Shutterstock/Sergej Khakimullin; 37 Getty Images/Roger-Viollet; 42 Getty Images/NY Daily News Archive/David Handschuh; 46 Corbis/Sygma/Tokyo Shimbun; 50 Shutterstock/Kameel4u; 58 Shutterstock/jokerpro; 65 Getty Images/AFP; 68 Shutterstock/Lee Prince; 75 Shutterstock/Filipchuk Oleg Vasiliovich; 79 U.S. Air Force Photo/Lt Col Leslie Pratt; 84 Corbis/Tetra Images; 98 Science Photo Library/Christian Darkin; 103 picture-desk.com/The Kobal Collection/MGM; 113 Science Photo Library/Volker Steger; 118-19 Shutterstock/Pan Xunbin; 125 Shutterstock/Sleepy Weasel Entertainment; 132 Shutterstock; 144 Getty Images/Tom Stoddart; 148 Shutterstock/Galyyna Andrushko; 155 Shutterstock/Leo Francini; 164 Shutterstock/David Hyde; 169 Shutterstock/Uryadnikov Sergey; 174 Shutterstock/oily; 186 Glynn Walton; 191 Shutterstock/tungtopgun; 202 Shutterstock/Terrance Emerson; 211-12 Glyn Walton; 213 NASA/Don Davies; 220 Shutterstock/Christian Vinces; 223 Glyn Walton; 227 Corbis/Stocktrek Images; 230 Glyn Walton; 235 Shutterstock/3355m; 247 Glyn Walton; 251 Shutterstock/lafoto; 254 Glyn Walton; 259 Shutterstock/alin b; 261 Courtesy of SOHO/ESA & NASA; 266 Shutterstock/David Jones; 268 Glyn Walton; 274 NASA/JPL-Caltech; 278 Tim Brown/Pikaia Imaging; 282 NASA/Sonoma State University/Aurore Simonnet; 286 Quercus Publishing Plc; 291 Science Photo Library/Detlev van Ravenswaay; 299 Glyn Walton; 303 Science Photo Library/Mark Garlick; 313 Getty Images/Barcroft Media/Mark Clifford; 317 Science Photo Library/Mike Agliolo; 320 Press Association Images/AP/Shell Alpert; 327 Shutterstock/mozzyb; 330 Glyn Walton; 334 Science Photo Library/Lynette Cook; 337 NASA/ESA/STscl/AURA/University of Virginia/NRAO/StonyBrook University; 341 Shutterstock/Milos Luzanin; 345 Glyn Walton; 349 Shutterstock/DeoSum; 360-61 Quercus Publishing Plc/Tim Brown; 366 Getty Images/Steve Allen; 371 Corbis/Hulton-Deutsch Collection; 378 Science Photo Library/Pasieka; 363 Shutterstock/Smit; 392 Shutterstock/Pichugin Dimitry; 397 Quercus Publishing Plc.

Jegyzetek a magyar kiadáshoz

- ¹ Dr. Strangelove, avagy rájöttem, hogy nem kell félni a bombától, meg is lehet szeretni (*Dr. Strangelove or: How I Learned to Stop Worrying and Love the Bomb*) 1964
- ² Aldous Huxley: *Szép új világ (Brave New World)* Ford.: Szentmihályi Szabolcs Péter. Budapest, Kozmosz Könyvek, 1982, 191. old.
- ³ Thomas Malthus: *Tanulmány a népesedés törvényéről (Essay on the Principle of Population)* Ford.: György Endre. Budapest, Grill, 1909
- ⁴ Michael Crichton: *Préda (Prey)* Ford.: Barkóczi András. Reader's Digest, Budapest, 2004
- ⁵ H. G. Wells: *Világok harca: Marslakók a Földön (The War of the Worlds)* Ford.: Mikes Lajos. Budapest, Lampel, 1900 körül
- ⁶ Jared Diamond: *Háborúk, járványok, technikák (Guns, Germs and Steel)* Ford.: Födő Sándor. Typotex, 2000
- ⁷ Uő: *Összeomlás (Collapse)* Ford.: Vassy Zoltán. Typotex, 2007
- ⁸ Byron válogatott művei I. Ford.: Tótfalusi István. Budapest, Európa Könyvkiadó, 1975
- ⁹ Mary Shelley: *Frankenstein* Ford.: Göncz Árpád. Budapest, Kozmosz, 1977
- ¹⁰ Kurt Vonnegut: *Macskabölcső (Cat's Cradle)* Ford.: Borbás Mária, Orbán Ottó (versek). Budapest, Európa Kiadó, 1978

Nev- és tárgymutató

- ADHD lásd figyelemhiányos hiperaktivitási zavar
- Afganisztán 48-49, 146
- Afrika 60, 63, 87, 117, 129, 136-37, 144, 147, 151-54, 160, 168, 187, 216, 220-21, 225, 231, 368, 404
- agy
- ~ működése 54
 - ~ szerkezete 54
 - sejt 385-86
 - serkentő 56-57
 - emberi - 104, 114
 - méhek -a 123
- Aichi célok 172
- Alekszander, Igor 107
- Alexander, Keith 79, 82
- algák 127, 192, 197, 201, 242, 377
- al-Káida 48-49
- Allen Rádióteleszkóp (Park Allen Telescope Array, ATA) 325
- Amerikai Egyesült Államok
- ~ Földmérő Hivatala (US Geological Survey, USGS) 134-36, 138, 248-49
 - Környezetvédelmi Hivatala (US Environmental Protection Agency, EPA) 122
- Országos Élelmiszer- és Mezőgazdasági Intézete (National Institute of Food and Agriculture) 86
- GM-növények 86-92
- tengerszint-emelkedés által veszélyeztetett városai 174-81
- állati vírus 22-23
- álom 40, 94-95, 111, 138, 163, 383-88, 403
- általános relativitáselmélet 284, 308, 312, 344-45, 395
- Amerikai Tudományos Akadémia (National Academy of Sciences, NAS) 142, 190
- Amflora 87
- Androméda 335-40, 400
- anoxiás állapot 237-43
- Antarktisz 177, 180, 184, 209-11, 256
- anthrax 45, 47-48
- Antoniu, Michael 89
- Apophis 214
- áradás 72, 152, 175, 179, 231, 253
- Arsenault, Louise 55
- aszteroidák 13-14, 16, 213-19, 222-24, 228, 234-35, 238-39, 243, 248-49, 257, 275-77, 283, 288, 332, 379

- Aum Shinrikyo 46-47
- Az Emberiség Jövője Intézet (Future of Humanity Institute) 104,112, 355, 362, 367, 384
- Ázsia
- ~i házi méh populáció 122
 - ~i hosszúcsápú cincér 127,129
 - ~i influenzajárvány 19
- Balick, Bruce 331-32
- Ball, Philip 100
- Barnes, Joshua 336-37
- Barnosky, Anthony D. 14-16
- Beachy, Roger 86
- Beddington, John 262, 264-65
- Bell, Robin 177,181
- betolakodó fajok 125-31,166,172
- BGS lásd Brit Földmérő Hivatal
- biodiverzitás 16, 90,124,128-31,136, 165-67,172
- biotechnológiai katasztrófa 84-92
- bioüzemanyag 91,142-44
- biszfenol-A (BpA) 199
- Bogdán, Thomas 260, 262
- Boltzmann, Ludwig 343
- Borlaug, Norman 59
- Bostrom, Nick 104,106-07,111-12,116-17, 355, 362-64, 367, 375, 384-85, 387, 399
- botulin 48
- Braddock, Dunn & McDonald 29
- Bralower, Timothy J. 237-38
- Brazília 87,120,138,151,160,167, 225, 246
- Brit Földmérő Hivatal (British Geological Survey, BGS) 159, 246, 249-50
- British Medical Journal* 55
- Broecker, Wallace 185
- Brown, Lester 133,137,141-42, 144-47
- Bt-kukorica 89-90
- buborékuniverzum 298-300
- Budge, Giles 120
- Bush, George W. 48, 75, 82,144
- Callender, Craig 343-44
- Cameron, Sydney 119,121
- Cannell, Elliott 121
- cápa 169-70, 217
- Caplan, Arthur 92
- Carr, Bernard 310-12, 315
- Carrington, Richard 262
- Cassman, Kenneth 143
- Casti, John 109
- cézium 43-45, 48-49
- CFC lásd klorofluorokarbon
- CFR lásd Külkapcsolatok Tanácsa
- Chacaltaya gleccser 153
- Chalmers, David J. 386, 388
- ciklon
- rendszer 252
 - szuper- 251-57
 - trópusi ~ 168, 254
- cincér 127-29
- cisztás fibrózis 360
- Clarke, Richard 80
- Cohen, Jack 321, 323
- Cohen, Joel E. 61-62, 64-65
- Coleman, Sidney 300
- Crichton, Michael 94
- Crick, Francis 358

- családtervezés 71
 csecsen lázadók 49
 csernobili katasztrófa 45
 Csillagháborús terv lásd Stratégiai Védelmi Kezdeményezés
 csillagok
 ~ életciklusa 310, 328
 ~ összeomlása 346
 ~ összeütközése 305-06
 ~ pályája 280
 ~ pusztulása 329
 maradvány- 283, 285, 330, 332
Csillagok háborúja 319
 csíravonal genetikai módosítása 362
 Csuang Ce 384

 Darwin, Charles 367, 369-70, 379
 Davies, Paul 324
 DDT 200, 204
 dél-atlanti anomália 246
 dengue-láz 23
 Derucher, Andrew 200-02
 Diamond, Jared 156-57, 160, 163
 Dindyal, Shiva 72-73
 dinitrogén-oxid 86, 212
 dinoszaurusz 10, 13, 102, 165, 171, 214, 223, 237, 249, 257, 276
 diszgenika 366-75
 disznók 22
 DNS 85, 90, 114, 124, 199, 208, 244, 293-94, 321, 323, 358, 360-61, 366, 368-69, 376-80, 393
 donepezil 53
 Dowling, Ann 99
Dr. Strangelove 26-27, 31
 Drake, Frank 319, 325

 Drexler, Eric 94-95, 97-98, 100
 Dust Bowl 135

 Ebola 23, 85
Economist, The 79, 81-82
 Edwards, Clive 203
 Egészségügyi Világszervezet (WHO) 18, 56, 171
 Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 16, 149, 151-53, 180
 Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) 62, 64, 70-71, 126, 132-33, 149-50, 158, 163, 171
 éhínség 59, 70-71, 136, 144, 188
 Einstein, Albert 284, 308, 311-12, 342-45, 384
 Ejzak, Larissa M. 293
 élelmiszer
 ~-árak 133, 144, 146
 ~-hiány 86, 141, 145-46, 162
 ~-ipar 203
 ~-készlet 38, 60, 80
 ~-válság 140-47
 Élelmiszer- és Gyógyszerszabályozó Egészségügyi Szervezet (Food and Drug Administration, FDA) 55
 Emanuel, Kerry 254-57
 emlékezetjavulás 53
 endokrin disruptorok 200
 Endy, Drew 85
 Engelman, Robert 60, 64, 66
 ENSZ lásd Egyesült Nemzetek Szervezete

- ENSZ Elsivatagosodás Elleni Egyezménye (United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD) 133,137
- epigenetika 361
- eseményhorizont 284-86, 310, 346
- Észtország 70, 80,167
- eufória 50-57
- eugenetika 370-73
- Európai Extrém Nagy Távcső (European Extremely Large Telescope, E-ELT) 325
- Európai Környezetpolitikai Intézet (Institute for European Environmental Policy, IEEP) 129-31,149
- Európai Śrugynökség (European Space Agency, ESA) 218
- excentricitás 267-70
- extremofil 271, 322-23
- Fahey, David W. 211
- Farley, Kenneth 279
- fekete lyuk
- ~ kialakulása 311-12
 - elszabadult ~ 282-88
 - mesterséges ~ 309-15
 - ősi ~ 311-12, 315
 - szupermasszív ~ 285
- feketehattyú-események 401-02
- Feynman, Richard 96-97
- fiatal driász korszak 187
- figyelemhiányos hiperaktivitási zavar (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD) 52-53
- Fish Kanyon Tufa 231
- Foresight 53
- forgástengely 266-73
- földközeli objektum (Near-Earth Object, NEO) 215, 219
- földön kívüli intelligencia keresése (Search for Extra Terrestrial Intelligence, SETI) 319, 321, 324-25
- földönkívüliek 127, 317-26
- Földpolitikai Intézet (Earth Policy Institute, EPI) 133
- földrengés 28, 30, 217, 222-23, 226-27, 251, 272
- Freitas Jr., Robert A. 98-100
- furcsa anyag 352-53
- gabona
- fajta 59
 - fogyasztás 142
 - termés 141-42
 - termesztő régió 189
- Gagosian, Robert B. 183-85,187,190
- galaxis 274, 276, 280-81, 285, 287-88, 290, 292, 300, 305, 308, 312, 316, 319, 323-25, 334-40, 346-47, 400
- Galton, Francis 370
- gamma-kitörés (gamma-ray burst, GRB) 290-95
- gén(ek)
- üjraprogramozása 359
 - módosítás 84-90, 92,112,115, 358-59, 362, 364, 375
 - állati - 361
 - beültetett ~ 85
 - emberi - 116, 361, 364, 366, 369
 - módosult - 73
- genetika
- i mutáció 359, 368-69

- ilag létrehozott szuperemberek 357-65
- génmódosítás (emberi) 364
- génmódosítás (növényi) *lásd* GM-növények
- geomágneses pólusváltás 244-50
- Glashow, Sheldon 353-54
- Gleick, Peter H. 153
- Gliese 710 280
- globális felmelegedés 13, 145, 175-77, 179-80, 182, 190, 234, 237-38, 241, 243, 272
- Globális Vírus-előrejelző Kezdeményezés (Global Viral Forecasting Initiative, GVFI) 22-23
- globalizált világ 127, 258
- GM-növények 85-90, 92
- Gnacadja, Luc 133-34
- Gobineau, Joseph Arthur 371
- Golf-áramlat 182-90
- Gornitz, Vivien 179
- Grady, Monica 219
- Grant, Madison 372
- Greely, Henry 53, 56-57
- Gregory, Jonathan 177
- Grönland 160, 176-77, 180, 184-85, 189, 240, 272
- Guth, Alan 298
- GVFI *lásd* Globális Vírus-előrejelző Kezdeményezés
- H1N1 vírus *lásd* sertésinfluenza
- H5N1 vírus *lásd* madárinfluenza
- Haber-Bosch-eljárás 162-63
- halogénezett szénhidrogének 208-09
- halott zóna 201, 241
- hamis vákuum 297-300
- határozatlansági reláció 296
- Hawking, Stephen 310-12, 314-16, 318, 326
- Heisenberg, Werner 296
- Hernquist, Lars 336-37
- hidegháború 25, 28-29, 33-34, 40-41, 45
- hidrogén-szulfid 203
- hipernóva 291
- Hirosima 34, 37, 39, 214, 219
- HIV-vírus/HIV-fertőzés 22-23, 74
- Hoffman, David 28, 32
- Hoffman, Paul 194-95, 197
- Hofstadter, Douglas 101
- hógolyó Föld 191-97
- Hold 272-73, 336-38, 354
- Holdren, John 262, 265
- Holt kéz-program *lásd* Periméter
- Hosono, Hideo 162
- Humán Genom Projekt (HGP) 358, 363
- humáni genom 357-58
- humanisták 111-12, 115
- húrelmény 312, 346
- hurrikán 196, 232, 252-55
- Hut, Piet 218-19
- idegenek *lásd* földönkívüliek
- idő
 - ~ vége 341-48
 - szak 12-13, 25, 61, 106, 128, 187, 195-96, 209, 237, 239-41, 262, 264, 270-71, 275-76, 294, 311, 373, 379-80, 390
 - számítás 281
 - tartam 209, 254, 270, 296
 - munka- 52

- IEEP *lásd* Európai Környezetpolitikai Intézet
 I Love You vírus 81, 83
 imidakloprid 122
 India 34, 39-41, 59-61, 64, 72, 87, 101, 120, 122, 142-43, 150, 152, 157, 160, 167, 169, 187, 189, 223, 229, 252, 372, 403
 indiai-óceáni cunami 223
 indium 158, 161-62
 influenza
 ázsiai -19
 sertés- 17-18, 23
 madár- 18, 22, 146
 spanyolnátha 18, 24
 információ kihalása 389-96
 ipari forradalom 59, 100, 156, 402
 intelligencia
 -szint 116
 mesterséges - 103, 105-07, 112-13, 115-16, 324
 szuper- 101-09
 interkontinentális ballisztikus rakéták (Intercontinental Ballistic Missile, ICBM) 30, 36
 IPCC *lásd* Éghajlat-változási Kormányközi Testület
 Irak 49, 146, 398
 Irán 41
 IUCN *lásd* Természetvédelmi Világ-szövetség
 Jackman, Charles 293
 Jacobs, J. A. 248
 járvány
 influenza - 19, 21-23
 országos - 20
 pestis- 19, 71
 spanyolnátha- 18, 24
 világméretű - 17-24
 jég
 -korszak 39, 176, 187, 191-93, 197, 233, 269
 -réteg 184, 192, 233
 -tábla 175-77, 180, 272
 -takaró 176-77, 183, 185
 John, Jeremy Leighton 391, 393
 Joint Strike Fighter 80
 Jones, Steve 368-69
 Jövőnő Nemzedék (Future Generations) 372
 kambriumi robbanás 196
 kannabisz 55
 Katajev, Vitalij 29-30
 Katrina hurrikán 253
 kéjgáz *lásd* dinitrogén-oxid
 kék csillag 280, 305-06
 Kelly, Henry C. 44, 49
 kiber
 -bűnözés 81
 -háború 75-83
 -terrorizmus 79
 kihalás
 -mértéke 12
 -i esemény 11-13, 15-16, 231, 238-39, 241-43, 249, 270, 280, 294, 379
 információ - 389-96
 lásd még tömeges kihalás
 Kína 23, 40, 61, 64-65, 72, 79-80, 120, 127, 135-37, 139, 142-43, 150, 156-

- 57, 159-60, 167, 170, 187-89, 229,
242, 384, 396
- Kirschvink, Joe 195
- kis jégkorszak 39
- klímaváltozás 15, 39, 60, 72, 86, 140,
142-43, 150-53, 166, 171, 174-76,
178, 181-83, 190, 192, 195, 197, 206,
253, 257, 377, 379, 381, 397, 399-400
lásd még globális felmelegedés
- klorofluorokarbon (CFC) 208-12
- konodonták 12
- Kormányzati Kommunikációs Főhadiszállás (Government Communications Headquarters, GCHQ) 79
- Korobusin, Varfolomej 29
- koronakidobódás (coronal mass ejection, CME) 260-61, 263
- kozmikus sterilizáció 356
- kölcsönösen garantált megsemmisítés (Mutually Assured Destruction, MAD) 33-41
- Kuiper-öv 277
- Kurzweil, Ray 114, 117
- Külkapcsolatok Tanácsa (Council on Foreign Relations, CFR) 48-49
- kvantum
- elmélet 312
 - mekanika 296-97, 301-02, 315,
350-51
 - rendszer 296, 301
- kvark 351-54
- La Palma 221-22, 224-25
- Landerer, Felix 272
- Leape, Jim 167-68, 171
- lépfene *lásd* anthrax
- Levi, Michael A. 44, 49
- LHC *lásd* nagy hadronütköztes gyűrű
- Lituya-öböl 222-23
- Liu, Yifan 48
- Londoni Geológiai Társaság (Geological Society of London) 231, 233, 235
- Lubchenco, Jane 264
- Lynn, Richard 373
- Lyons, Gwynne 204
- M31 galaxis *lásd* Androméda
- madárinfluenza 18, 22, 146
- mágnes
- ~es áramlás 246
 - ~es erővonal 245, 247, 249
 - ~es mező 244-50, 263
 - ~es pólus 244-50
 - ~es tér 245, 261, 263
 - geo- 244-50, 262-63
- magnetoszféra 249, 259
- Malthus, Thomas 58-60, 71-72, 141
- Manhattan-projekt 35, 82
- McGuire, Bili 221, 234
- McKibbin, Warwick 21
- McLellan, Bili 97, 100
- McMurty, Gary 225
- Medvegyev, Dimitrij 40
- megacunami 220-26
- méhek
- pusztulása 118-24, 203
 - házi - 122, 124
 - kőműves - 124
 - posz- 119-21, 124
 - vad- 124
- Melott, Adrian 294-95

- mesterséges
~ intelligencia 101-09, 112-13, 115-
16, 324
~ kéz 113
- metán 86, 241, 243
- metil-fenidát (Ritalin) 52-53
- mezőgazdaság 34, 41, 59, 72, 86-87,
119-21, 124, 126, 128, 130-31, 133,
136-37, 140-41, 143, 145, 147, 150,
154, 166, 168, 183, 186-89, 199-200,
204-05, 212, 228-29, 235
- Mezőgazdasági és Biológiai Tudo-
mányok Nemzetközi Központja
(Centre for Agricultural Bioscience
International, CABI) 128
- Milankovits, Milutin 268-71
- Millennium Ökoszisztéma Értékelés
(Millennium Ecosystem Assess-
ment) 166
- modafinil 52, 54
- Monbiot, George 88, 92
- monszun 39, 187-88
- Montreali jegyzőkönyv (Montreal Pro-
tocol) 209-11
- Moravec, Hans 103, 105
- MQ-1 79
- Murray, Robin 55
- Musser, George 347-48
- Nagaszaki 35, 37
- Nagy Bumm 297, 309, 311, 335, 347
- nagy hadronütköztes gyűrű (Large
Hadron Collider, LHC) 309, 311,
313-14, 316, 393, 395
- Nagy kihalás 12-13
- Nagy-síkság 135
- Nakamura, Eiichi 162
- nanorobotok 94, 98-100, 114
- nanotechnológia 93-100, 114-15
- nap
-elem 94, 154, 158, 162
-energia 99, 138, 266, 268-69
-vihar 258-65
- Nature 14, 23, 53, 95, 97, 147, 149-50,
154, 189, 238, 248-49, 253, 255, 270,
276, 321, 323, 355
- Nemzetközi Atomenergia Ügynök-
ség (International Atomic Energy
Agency, IAEA) 49
- Nemzetközi Vízgazdálkodási Intézet
(International Water Management
Institute) 151
- népesség
-csökkenés 70-73
-egyensúly megtartása 69
-növekedés 60-67, 71, 86-87, 141, 152
-politika 65-66
-pótlás 70
-szám 64, 67, 69-70, 72
- Newton, Isaac 343, 399
- Növényvédőszer Akcióhálózat (Pesti-
cide Action Network, PAN) 121
- nukleáris
- fegyver 35, 40-41, 400
- háború 34
- hatalom 32-33, 41
- robbanás 28, 43
- tél 37-38, 41
- nyersanyag
-biztonság 157
-készletek kimerülése 155-63

- O'Neill, Brian 66
 Obama, Barack 40, 79, 262
 óceáni anoxiás esemény (oceanic anoxic event, OAE) 237, 240, 243
 Oort-felhő 276-80
 ordovícium-szilur kihalási esemény 12, 294
 Oroszország 40-41, 69-70, 74, 79, 167, 189, 234
 orvostudomány 20, 55, 97, 110, 366-67, 369, 372
 Oxford, John 24
 Oxfordi Egyetem 104, 112, 355, 362, 367, 384
 oxigéniánya 201, 236-43
 ózonlyuk 208, 210-11, 240, 256
 ózonréteg
 ~ pusztulása 206-12
 ~ regenerálódása 209-10
- Ökológiai és Hidrológiai Központ (Centre for Ecology and Hydrology) 119
 ökoszisztéma
 ~ összeomlása 164-73
 helyi ~ 126, 128
 kiegyensúlyozott ~ 126
 őszejt
 -biológus 115
 -kutatás 115
- Padilla, Jose 49
 Pakisztán 34, 39-41
 Parkinson-kór 115, 204
 Parr, Doug 90
 PCB lásd poliklorozott bifenilek
- Pearce, Fred 67, 70
 Pentagon 79, 398, 400
 Periméter 26-32
 perm-triászkori tömeges kihalás 231
 pestis 19, 47, 71
 Petranek, Stephen 166
 Pimentel, David 131
 Pinker, Steven 108
 piszkos bomba 43-45, 47-49
 Planck-sűrűség 313
 planetáris ködök 329-32
 plutónium 44-45
 poliklorozott bifenilek (PCB) 200, 202, 204
 Pollard, David 270, 272
 pólusváltás 244-50
 Porritt, Jonathan 65
 propranolol 52
 pszichoaktív drogok 52
 Putyin, Vlagyimir 73
- Rahmstorf, Stefan 176, 181, 189
 Randall, Doug 185, 187-89
 Raup, David M. 12, 248
 Reagan, Ronald 30-31
 Rees, Martin 85, 94
 relativisztikus nehézion-ütközötő (Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC) 353-54
 relativitáselmélet
 általános - 284, 308, 312, 344-45, 395
 speciális - 344
 részecske
 -fizika 351
 -fizikus 309

- gyorsító 312-14, 316, 353
kvantum- 296
nano- 99-100
szubatomi ~ 284, 350-51
- RHIC *lásd* relativisztikus nehézion-üt- köztető
- Richardson, Robert 158
- ricin 46
- ritkaföldfémek 158-60,163
- Robbins, Trevor 53-54
- Robock, Alan 39-41
- Rodinia 193-94
- Rosetta Disk 396
- Rosi-Marshall, Emma 89
- rovarirtó 73, 85-86,119,121-22,188, 198-204
- Rumsfeld, Donald 398
- Sachs, Jeffrey D. 163
- Sagers, Cynthia 88
- Sahara Forest-projekt 138
- Sainsbury, David 96
- Sandman, Peter 23
- sarkkör 176, 270-71
- SARS-vírus (Severe Acute Respiratory Syndrome, súlyos akut légzőszervi szindróma) 21, 23,146
- Sato, Kentaro 162
- Schrag, Daniel 194-95,197
- Schwartz, Peter 185, 187-89
- Schweizer, Francois 336-37
- Scully, Jackie 374
- Senovilla, Jósé 346-47
- Sepkoski, Jack 12
- SETI *lásá* földön kívüli intelligencia keresése
- Shamatha-projekt 381
- Shara, Michael 305-08
- Shockley, William 369-71
- Shoemaker-Levy 9 üstökös 214
- Shostak, Seth 324-26
- simian foamy vírus (SFV) 23
- sivatagok/elsivatagosodás 34,132-39, 244
- sertésinfluenza 17-18, 23
- sötét energia 346
- spanyolnátha 18, 24
- speciális relativitáselmélet 344
- spermaszám csökkenése 72-73
- Steiner, Áchim 126,129,131
- sterilizáció
- kozmikus - 356
 - emberi - 372
- Stern, Nicholas 178
- Stewart, Ian 321-25
- Stindl, Reinhard 376-77, 380-81
- Stothers, Richard 276
- strangeletek 349-56
- Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (Strategic Defense Initiative, SDI) 30-31
- svábbogár 130
- Syngenta 88
- számítógép
- ~es hálózat 77, 80-81,112,117, 390
 - ~es szimuláció 339, 384, 386-87
 - ~es virus 80-81
 - hálózati - 78
 - hordozható - 57
 - szuper- 38,101,103,106, 353
- szarintámadás 46

- szén-dioxid
 -kibocsátás 67,167
 -mennyiség 63, 238-39
 -szint 194
 -termelés 67
 szennyezés
 környezet- 121,166,172
 vegyianyag – 198-205
 vizek ~e 86-87,153
 sziklarajzok 392
 szingularitás 106,108-09, 284-85, 287,
 310-11, 345-46
 szintetikus biológia 85
 Szomália 133-34,146
 Szovjetunió 25-31, 34, 36, 38, 40, 45,
 74,122,160, 263, 401
 Szudán 144,146
 szumátrai orángután 168-69
 szuperciklonok 251-57
 szupernóva 290-91, 330
 szuperviharok 255
 szupertulkánok 227-35
 születésszabályozás 70

 talaj
 -baktérium 88
 -erózió 133-34,136,145
 -réteg 133-35,142,187
 -szint 138
 Taleb, Nassim Nicholas 401-04
 Tambora kitörése 229-30
 Tejútrendszer 275-76, 284-85, 288, 308,
 335, 338-40
 telomeráz 380-82
 telomerek 376-82
 tengelyferdeség 266-73

 tengerszint-emelkedés 175-81, 399
 termékenységi arányszámok 70
 természetes szelekció 323, 357, 367,
 369-70, 379
 Természetvédelmi Világálap (World
 Wide Fund for Nature WWF) 165,
 167,170-71
 Természetvédelmi Világszövetség
 (International Union for Conservation of Nature IUCN) 123,129,
 168-69
 terrorizmus 42-49, 79-80,145-46,160
 termohalin cirkuláció 182-87,189
 Thaiföld 146
 Tilton, John E. 156
 Tip tájfunk 255
 Toba kitörése 229-31, 233-34
 Tokió 21, 46-47, 74,162
 Toon, Owen Brian 41
 tömeges kihalás 10-16,165-66, 215-17,
 219, 231, 238-42, 248-49, 276, 279,
 281, 293-94, 379
 transzhumanizmus 110-17
 trilobiták 10,12
 Turco, Richárd 38-39

 Uganda 87,129
 ultraibolya sugárzás 38, 99, 207-09,
 240, 256, 260, 289, 293-94, 332
 UNCCD lásd ENSZ Elsivatagosodás
 Elleni Egyezménye
 urán 35-36
 USGS lásd Amerikai Egyesült Államok Földmérő Hivatala
 UV sugárzás lásd ultraibolya sugárzás
 űrtörmelék 274-81

- üstökös 13, 214, 216, 234, 248-49,
275-81, 288, 332
- üvegházhatású gázok 60, 86-87, 133,
151, 156, 171, 176-77, 193-94, 243,
293 *lásd még szén-dioxid*
- vákuumbomlás 296-302
- van Court, Marian 372-73
- van Dam, Jan 270
- vegyi
- terrorizmus 46
 - anyag szennyezés 198-205
- Venter, Craig 91
- Világfigyelő Intézet (Worldwatch Institute) 60, 141
- világvége-egyenlet 62
- Vinge, Vernor 108
- víz
- alatti város 109
 - hiány 145, 149-54, 188
 - készlet 20, 137, 142, 148-53, 231
 - édes- 131, 138, 142, 149-51, 153,
185-86, 189, 231, 272
 - ivó- 134, 149-50, 152, 154, 192,
199, 228
 - talaj- 145
- von Foerster, Heinz 62-63, 65
- Vonnegut, Kurt 352
- Wallace, Alfred Russel 370
- Ward, Peter D. 238, 240-43
- Watson, James 358
- Webber, Michael E. 149
- Wein, Lawrence 48
- Weissman, Paul 277, 279-81
- WHO *lásd Egészségügyi Világszervezet*
- Wilczek, Frank 314
- Williams, Darren M. 270, 272
- Wolfe, Nathan 22
- Woodwell, George M. 205
- WWF *lásd Természetvédelmi Világ-*
alap
- Xanthomonas wilt 87
- Yellowstone vulkán 234
- Young, Rob 178, 180
- zöld forradalom 141, 143, 147
- Zyvex 98

TÉNYLEG KÖZEL A VÉG?

Iai világunk hemzseg a halálos fenyegetések től és apokatikus vízióktól. Sok közülük ismerősen hangzik – terrorizmus, halálos vírusok, globális felmelegedés, háborúk –, de vannak közöttük olyanok is, amelyeket elképzelni sem tudunk: tömeges kihalás, földönkívüli invázió, genetikailag átrehozott szuperemberek, akik fajunkat akarják eltörölni a föld színéről, vagy mikroszkopikus méretű robotok milárdjai, amelyek pár óra leforgása alatt sárgolyóvá változhatják bolygónkat.

Ok Jha a *Guardian* tudományos rovatának munkatársa, a legfrissebb kutatási eredményekre támaszkodva foglalja össze az 50 legmeghökkentőbb elméletet az emberiség hetséges pusztulásáról, rámutatva, hogy még a látszólag vali fenyegetések is milyen veszélyt jelenthetnek lézünkre, és mit tehetünk – ha egyáltalán tehetünk valamit annak érdekében, hogy elkerüljük ezeket.



ISBN/barcode
978-963-304-084-3

Ár: 3500 Ft
hvgkonyvek.hu

