

SZÓRA BÍR H A T Ó K Ö Z E T E K

A földrengésekkel foglalkozó kutatások többnyire arra irányulnak, hogy az épületek, építmények kiállják-e a bekövetkező földrengések okozta terheléseket, a lakosságot pedig – főképp a veszélyeztetett övezetekben – igyekeznek felkészíteni egy esetleges csapásra. Egy rutin műszaki diagnosztikai módszerrel azonban, a fizikai törvényszerűségek figyelembevételével, ma már a földrengés előrejelzése sem tűnik lehetetlennek – írásunk szerzője szerint.

A szeizmológusok túlnyomó része világszerte azon az állásponton van, hogy a földrengéseket nem lehet pontosan előre jelezni. Legfeljebb az állapítható meg egy-egy területről a korábban bekövetkezett rengések statisztikájára alapozva, hogy ott bizonyos erősségű rengések mekkora valószínűséggel várhatók. Ezek alapján szerkesztették meg a bekövetkezési valószínűségeket és a biztonsági jellemzőket tartalmazó térképeket. Ilyen térkép Magyarországról és, persze, Japánról is készült. A szigetország bizonyos területein a feljegyzések szerint gyakorlatilag nem voltak földrengések. Ennek alapján például Kóbe városát biztonságosnak tartották. Az élet mindezt megcáfolta, és 1995-ben Japán egyik legsúlyosabb földrengése éppen itt következett be.

Az állatok valamit megéreznek...

A híradásokban gyakran hallhatjuk: vadon élő állatok – rákok, halak, madarak, rágcsálók, kutyák és még az elefántok is – a földrengést megelőző időszakban szokatlanul viselkednek és menekülnek. Az állatok valamit „megéreznek”. Sőt, az emberek között is léteznek olyan érzékeny személyek, akik a földrengések bekövetkezése előtt szokatlan tünetekről, nyugtalanságról, fejfájásról stb. panaszkodnak. Az emberek és az állatok megérzésén túlmenően bizonyos fizikai jelenségek is a várható földrengésre utalnak, például kutak, források vize zavarossá válik, a vízhozam megvál-

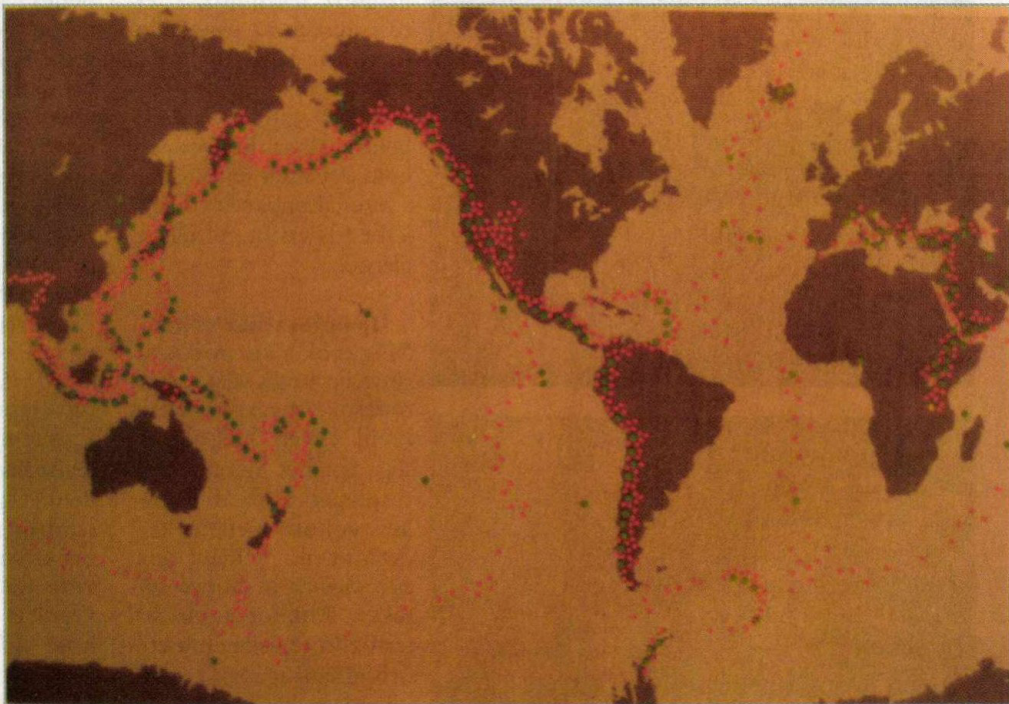
tozik stb. Léteznek hát előjelek, de ezekből általános, mindenhol és mindenkor alkalmazható hatékony módszer nem fejleszthető ki.

Az előrejelzés leginkább elfogadott módszere az *előrengések* számának és erősségének megfigyelésén alapul. Kínában volt már példa arra, hogy ilyen információk alapján az érintett területet karhatalmi erővel kiürítették. A földrengés valóban bekövetkezett, és csak kevesen estek áldozatul. Az Amerikai Egyesült Államok-

A nagyszámú megfigyelés és több jelenség is tehát azt igazolja, hogy a földrengések nem teljesen váratlanul következnek be, vannak *előjelek*. Vajon fel tudjuk-e ezeket használni előrejelzésre: a katasztrófákra való felkészülésre, menekülésre?

Milyen erők mozgatják?

A földrengéseket a földkéregben felhalmozódott feszültség feloldódása – a *földkéreg törése* – okozza, maga a *feszültség* pedig a kéreglemezek moz-



**A lemezhatárok mentén
sűrűsödő földrengések (piros)
és vulkánkitörések (zöld)**

ban megfigyelték azt is, hogy a földrengések előtt a *hosszúhullámú rádióadások* torzulnak, illetve antennával olyan rádiófrekvenciás zajok foghatók, amelyek más időszakban nem jelentkeznek. Hazánkban a *Dunaharaszti*ban 1956. január 12-én bekövetkezett földrengés előtt a *térszínt* lesüllyedését figyelték meg.

gása miatt jön létre. A földrészek vándorlását – *Wegener* elméletéből – ma már jól ismerjük, sőt, a táblák mozgásának sebességét és irányát is azonosították. Az egyedüli magyarázatra szoruló kérdés „*csupán*” az, hogy a mozgást *mi* hozza létre?

A világszerte elfogadott elmélet szerint a kéreglemezek mozgásának oka

a Föld belső szerkezetében keresendő. A lemezeket a szilárd köpeny alatti, lényegében folyékony magma függőleges áramlása mozdtítja el, ám ezt az áramlást azonosítani, megmérni mindmáig nem sikerült. Az elmélet szerint a Föld belsejében az anyag felmelegszik (kitágul és a fajsúlya csökken), ezért felfelé áramlik. A felszín közelében aztán a magma lehűl, és visszasüllyed a mélybe, majd az egész kezdődik előlről.

Az elmélet tetszetős, de több ponton is támadható, és néhány geofizikai jelenségre nem ad kielégítő magyarázatot. Ám létezik egy, a magmaáramlást másképpen magyarázó elmélet is.

Az árapály is közbeszól

A barlangászok *Jósvafő* határában két karsztforrás esetében is megfigyelték, hogy az általában kis vízhozamú *Lófej-kút*nak és *Nagytohonya-forrás*nak a vízhozama átmenetileg akár a húszszorosára is megnövekszik. A jelenséget – időbeli jellemzői alapján – az árapálya hozták összefüggésbe. A jósvafői Vass Imre-barlang kutatói 1966-ban mérésorozatot végeztek arra vonatkozóan, hogy a barlangjárati falai egymáshoz képest milyen mértékben mozognak el. Kiderült, hogy a barlangfalak mintegy 4-5 mikrométeres vízszintes mozgást végeznek az apály-dagály jelenséget követve, azzal lényegében szinkronban. A mérés során 1966. augusztus 20-án mintegy 5 mikrométeres függőleges elmozdulást is regisztráltak – erről ké-

SODRÁSBAN

A földfelszín térképére nézve könnyen belátható, hogy a vízszintes magmaáramlás – a keletről nyugatra haladó dagályhullámmal megegyezően – magával sodorja a kéreglemezeket. A nyugati irányba való sodródás miatt alakulhattak ki a hegyláncok például mindkét amerikai kontinens nyugati partvonalá mentén, Alaszkától kiindulva a Sziklás-hegységen át az Andokon keresztül egészen a Tüzföldig. Mivel az északi féltekén nagyobb területű földrészek és hegységek találhatók, mint a délin, Észak-Amerika a keletről nyugatra haladó magmaáramlásra viszonylag nagyobb sebességgel úszik nyugatra, mint Dél-Amerika; ez a két földrész közötti szembetűnő eltolódás oka. Az északi féltekén a legnagyobb hegység a Himalája. Mögötte Japán hegyei szinte lemaradnak, és ez egyben nem csak az egyik, a földrengéseknek leggyakrabban kitett terület, hanem mögötte helyezkedik el a legmélyebb tengeri árok, a *Mariana-árok* is. Hasonló elhúzódnási kép figyelhető meg – a Himalája nagy tömegére való tekintettel – Indonézia esetében is. A másik nagy mélytengeri árok pedig éppen a Fülöp-szigetek mögött van.

A legérdekesebb jelenség az óceánok fenekén figyelhető meg, a hátságok kialakulása mentén, amelyek jórészt a távolodó kontinensek szétválási vonalában helyezkednek el. Különösen figyelemre méltó az, hogy a szétválási vonalra merőlegesen számos törésvonal helyezkedik el, amely arra utal, hogy ott nyíró igénybevétel képződött, éppen az északi féltekének a nagyobb tömegéből adódó gyorsabb haladása miatt. Az Antarktiszhoz közeledve a felszín alatti vízszintes magmaáramlás gyengül, mivel a precessziós mozgástengelytől mérhető távolság csökken, ezért a Falkland-szigetek, illetve a Tüzföld szinte lemarad. Az Antarktiszon jellegzetes fő törésvonalak, illetve intenzív földrengések nincsenek.

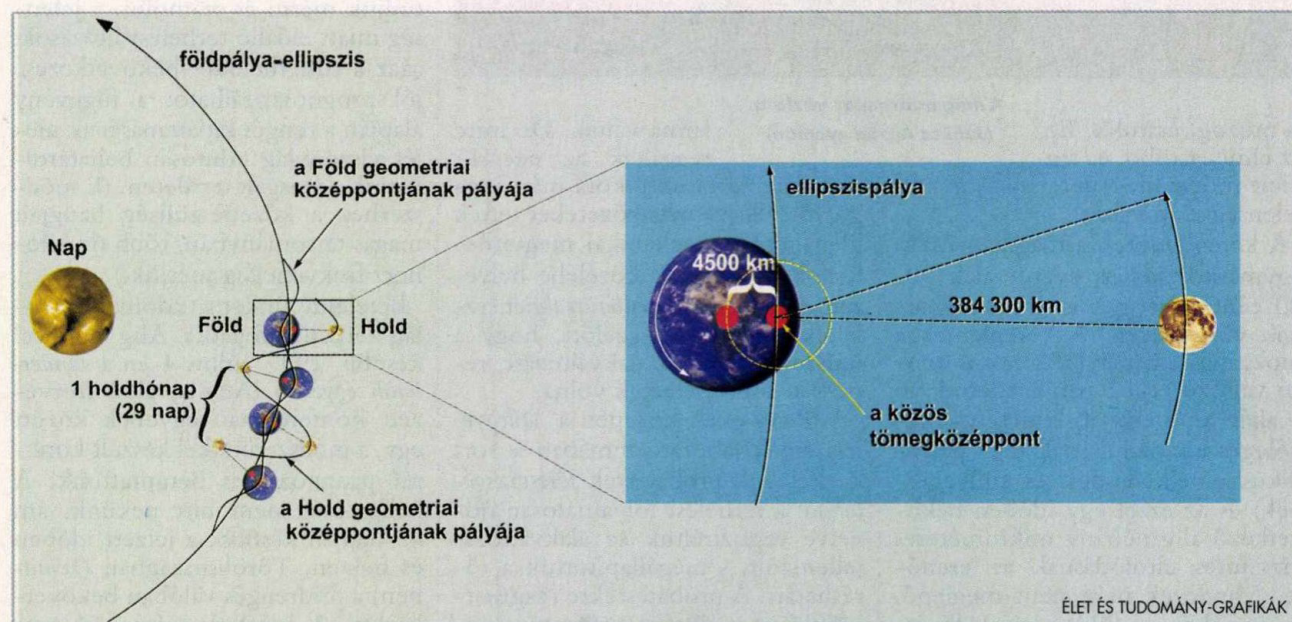
Nem hagyható figyelmen kívül az a tény sem, hogy a földfelszínt alkotó kéreglemezekre nem csak a magmaáramlás hat, hanem napi két alkalommal az árapály is. A térszint süllyedése-emelkedése miatt létrejön egy változó, hajlító igénybevétel is, amely elsősorban a vékony szelvényeknél, a kisebb keresztmetszeti helyeken fejt ki hatását. Ez utóbbi alakította ki a hegyek lábánál a törésvonalakat.

sőbb kiderült, hogy egy törökországi földrengéssel volt összefüggésben, azzal szinte egy időben történt.

A Magyar Állami Földtani Intézet munkatársai 1964 és 1965 között a mélységi vízmegfigyelő kutakat vizsgálva összefüggést mutattak ki a kutak vízszintingadozása és a felszíni légnyomásváltozás, illetőleg az ár-

apály között. (A regisztrátumokon Jugoszláviában, Romániában, Kínában kipattant földrengés hatása is megfigyelhető volt.) A vízszintingadozás magyarázata: a földkéreg a benne kialakult mechanikai feszültség, a belső nyomás megváltozása miatt – a szivacshoz hasonlóan – magába szívja, vagy éppen kipréseli a vizet.

**A dagályt létrehozó erők
Föld-Hold-rendszer
tömegközéppontja a Nap
körüli ellipszis pályán,
valamint a Föld precessziós
pályamozgása**



ÉLET ÉS TUDOMÁNY-GRAFIKÁK

A NASA ebben az időszakban mőholdas méréseket végzett. Az adatokból megállapították, hogy a szilárd kéreg (a földfelszín) az Egyenlítő mentén naponta kétszer mintegy 40 centiméternyit megemelkedik, illetve lesüllyed. A tengerekhez hasonlóan tehát a kéregben is jelentkezik az árapály jelensége. Hogyan?

A Föld és kísérője, a Hold egy Nap körüli *ellipszis pályán* kering. De vajon a Föld melyik pontja halad az ellipszis pályán? Könnyen beláthatjuk: ez a pont a Föld–Hold-rendszer közös *tömegközéppontja*, amely bolygónk geometriai középpontjától mintegy 4500 kilométer távolságra van (a Föld sugara körülbelül 6370 kilométer). Ebből következik, hogy bolygónk geometriai középpontja egy mintegy 9000 kilométeres amplitúdójú hullámmozgást, egyfajta *precessziós mozgást* is végez. Mindezekért a Föld belsejében a magma nem csak függőlegesen, hanem *vízszintes irányban*

tanása és a dagályhullámok között szoros összefüggést mutattak ki. A Kaliforniai Egyetem három kutatója 9350 darab 5,5-ös vagy annál erősebb, 1977 és 2000 között bekövetkezett földrengés elemzése alapján kimutatta: a földrengések kipattanási időpontja nem véletlenszerű. A földrengések és a dagályhullámok között meglepően szoros (99,99 százalékos) az összefüggés!

Az egér és a márványgolyó

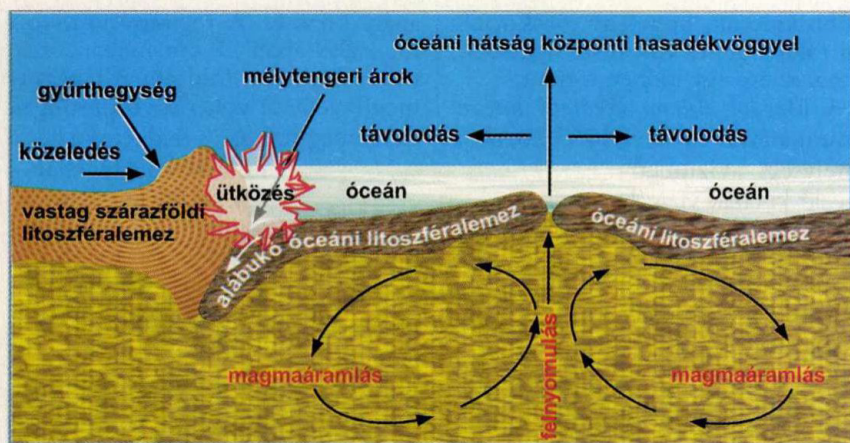
A földfelszín szilárd anyagában, a kőzetekben lezajló jelenségek megfigyelése leginkább a bányászattal kapcsolódik össze. A *metán* és a *radon* koncentrációja és az árapály közötti eseti összefüggést ma már senki sem vitatja. A bányászok azonban más jelenségeket is megfigyeltek. A veszély jelzésére évszázadokon át kalickába zárt egereket vittek magukkal, mivel az állatok a katasztrófát megelőzően nyugta-

ban keletkező *testhangok* mérésére (az anyag, különösen a fémek *akusztikus emissziója* jellegzetesen megváltozik az anyag kifáradása során; egyébként már a görögök lejegyezték, hogy a fémek énekelnek).

Egy bizonyos terhelés után az anyag reccsenésre emlékeztető testhangokat bocsátott ki. Az erőt növelve előbb egyre magasabb hangok keletkeztek, majd egy pontban a hangmagasság egyre gyorsulva csökkenni kezdett. Ezt a gyenge, jellegzetesen recsegő-pattogó hangot az ember nem hallja meg, ám az állatok érzékelik. Az anyagok – így a kőzetek is – *teherbírása* a megterhelések számától is függ: az ismétlődő, *ciklikus megterhelés* hatására kifáradnak és eltörnek. Vizsgálataink szerint a legnagyobb erőértékhez a *10-es ciklusszám* tartozott.

Tapasztalatainkat 1998-ban, egy nemzetközi konferencián hoztuk nyilvánosságra azzal a megjegyzéssel, hogy a módszer törések, sőt, akár földrengések bekövetkezésének *előrejelzésére* is alkalmas. A módszer lényege: a kritikus helyen a kőzetben (a kőzetekben) folyamatosan mérjük a mechanikai feszültség alakulását, és ezt összevetjük a kőzetben keletkező akusztikus emissziós jelekkel, testhangokkal. Amikor megszűnik az arányosság az erő és a hangmagasság között, s a hangmagasság csökkenni kezd, akkor ez a csökkenés egy jól azonosított matematikai függvényt követ. Mivel az apály-dagály miatti erőket jól tudjuk mérni és számolni, a jelenség miatt előálló terhelésváltozások, azaz a túlterhelődés bekövetkezése jól prognosztizálható: a függvény alapján a rengés kipattanásának idejét viszonylag pontosan behatárolhatjuk a vizsgált területen. (E módszerhez a kőzetfeszültség hangjait magas tartományban, több tíz kilohertz frekvenciáig mérjük.)

Bejelentésünket a tudományos világ kétkedve fogadta. Alig fél évvel később, 1999. július 4-én a *sunderlandi egyetem* (Anglia) által szervezett konferencián egyebek között egy, a módszerünkkel készült konkrét prognózist is bemutattunk. A hallgatóság nem hitt nekünk, ám 43 nappal később, a jelzett időben és helyen, Törökországban (*Izmitben*) a földrengés valóban bekövetkezett. A halottak száma 14 ezer



A magmaáramlás vázlata
(Juhász Árpád nyomán)

is mozog, áramlik. Ez az elmélet több, eddig kielégítően meg nem magyarázott jelenségre ad választ.

A kéreglemezek a magmán úszva egymáshoz képest évente akár 10–20 centiméternyit is elmozdulhatnak vízszintesen. A kéreglemezek mozgása – a dagályhullámot is okozó változó erőhatás miatt létrejövő – akár több száz milliméteres függőleges elmozdulásnak (egy periodikus emelkedésnek és süllyedésnek) és az ezzel egy időben bekövetkező alig néhány mikrométeres vízszintes eltolódásnak az eredője. Mindezek után nem meglepő, hogy többen a földrengések kipa-

lanná váltak. De mire reagáltak az egerek?

Amerikai kutatók jókora márványgolyót, illetve más kőzeteket tettek ki nagyobb mechanikai megterhelésnek. A kőzetek közelébe helyezett egereken *menekülési reakciót* észleltek, még jóval azelőtt, hogy a műszerek maradékalakváltozást, repedést, törést jeleztek volna.

A 90-es évek közepén a *Műegyetem* egyik laboratóriumában is sort kerítettünk próbatestek *törésvizsgálatára*: a terhelést folyamatosan növelve regisztráltuk az alakváltozás jellemzőit, s megállapítottuk a töréshatárt. A próbatestekre rezgésérzékelőket is elhelyeztünk az anyag-

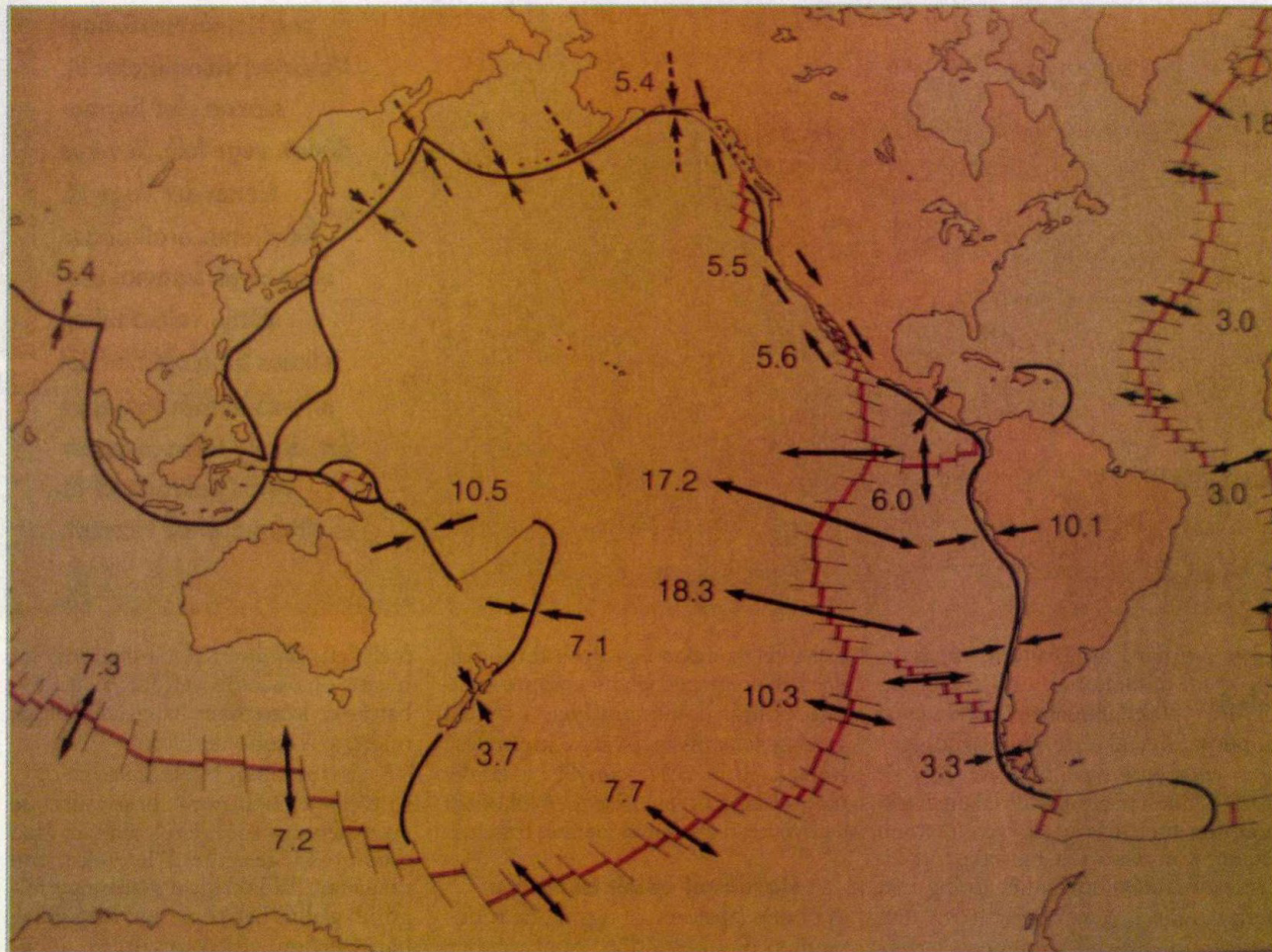
volt. (Lásd az *Ezredvégi katasztrófa* című írásunkat az ÉT 1999/38. számában! – A Szerk.).

Az izmiti földrengésnek is voltak előzményei. A földrengések egy-egy törésvonalon jól azonosítható sorozatot alkotnak. Az anatóliai törésvonal mentén legutóbb nagy földrengés 1957-ben és 1967-ben

Előtte néhány nappal, 1999. augusztus 11-én szerte a világon mindenki a *napfogyatkozásra* figyelt. A holdárnyék Angliából indulva keresztülhaladt hazánkon is, és a maximális magassági pozíciót Bukarest mellett érte el, majd Izmittól mintegy 100 kilométerre keletre keresztelte az észak-anatóliai törésvona-

Hol és mikor lesz a következő?

A földrengések egy törésvonal mentén – jól tudjuk – jellemzően *sorozatot* alkotnak. A 2004 karácsonya előtt kipattant tasmániai földrengés után a Bengália-öbölben bekövetkezett újabb lemezmozgás jóformán szűkszerű volt. Az, hogy ezt követően



A fő törésvonalak és kéreglemezek mozgás-állapota (az elmozdulások sebessége milliméterben megadva)

volt. A konferencián bemutatott példánkhoz felhasználtuk annak a török kőzetvizsgáltnak a feszültségmérési adatait, amelyek egy 1997. évi tudományos publikációban láttak napvilágot. E cikkben olvashattuk a következőket is: „minden esélyünk meg van arra, hogy egy nagy földrengés kipattanjon, mivel a felhalmozódott energia már legalább háromszorosa annak, amely általában törésre – földrengésre – vezet” (a törésre vezető energiafelhalmozódás ciklusa nagyjából 10 évet tesz ki). Aztán két év múlva be is következett a földrengés.

lat. A Nap és a Hold együttállása ekkor maximális amplitúdójú dagályt is előidézett. A napfogyatkozásokor keletkezett csúcsértékű erővektor volt az utolsó csepp a pohárban, amely a 32 éve felgyűlt feszültségű törésvonalon létrehozta a túlterhelést. Mindezek után már csak – az említett laboratóriumi kísérleteinkből ismert, s a törésdiagramhoz tartozó – tíz dagály(erő)ciklust kellett kivárni ahhoz, hogy a törés bekövetkezzék. Tíz dagály öt nap alatt zajlik le. Izmitben a prognosztizált földrengés 1999. augusztus 17-én valóban kipattant...

valahol *Afganisztán–Irán* térségében földrengés kipattan-e vagy sem, az attól függ, hogy ott mekkora energia – feszültség – halmozódott fel.

Az Eurázsiai- és az Amerikai-lemez határa éppen *Izland* területén vezet keresztül. A szigeten még 1976 és 1978 között a kőzetfelszínre *nyúlásmérő bélyegeket* ragasztottak. A leolvasott adatok szerint a mechanikai feszültség növekedése akkora a kőzetben, hogy a törés akár egy éven belül is bekövetkezhet. S valóban, Izlandon „mindig mozog a föld”, rendszeresen – igaz, kisebb erejű – földrengések pattannak ki. Földünkön évente mintegy 20 ezer földrengést regisztrálnak...

DR. KOVÁTS LÁSZLÓ DEZSŐ