

## TARTALOM

Bevezető gondolatok	15
Előszó	19
Bevezetés	27
1. Alfred Wegener: a kontinensek mozognak!	39
2. Arthur Holmes: a Föld kora milliárd években mérhető	47
3. Pentti Eskola a metamorf kőzetek iskolamestere	53
4. Norman Bowen, a kristályosodó tudás	57
5. Inge Lehmann megfagyasztja a Föld magját	63
INTERMEZZO: Mi nem történt csaknem 20 év alatt?	69
6. Marie Tharp felfedezi Földünk leghosszabb hegységrendszerét	77
7. Harry Hess beindítja az óceáni szállítószalagot	83
8. James van Allen megtalálja a Föld elektromágneses védőangyalait	87
9. Keith Runcorn mágneses bizonyítékot ad a kontinensek vándorlására	91
10. Vine és Matthews szerint az óceáni aljzat megjegyzi saját mágneses történetét	95
11. Allan Cox és Richard Doell fel-alá cserélgeti a Föld mágneses pólusait	99
12. Tuzo Wilson ráébred, hogy vízszintes vetődések márpedig vannak!	103

13. Walter Schopf rájön, hogy a földi élet csaknem egyidős Földünkkel	109
INTERMEZZO: a Gaia-hipotézis és James Lovelock. A Holdra szállás és Harrison Schmitt, valamint Wallace Broecker óceáni szállítószalagja. És még valami: Szádeczky-Kardoss Elemér és a geonómia	113
14. Walter Alvarez kezében ott van a füstölgő puskacsó!	127
15. John Sepkoski kihalás utáni élménye: A statisztika szerepe az őslénytáiban	135
16. Signor és Lipps szerint amit látunk, az nem az, aminek látszik, avagy a geológia Heisenberg-féle határozatlansági relációja	143
17. Martin Glaessner megmutatja, hogy a kambrium előtt is volt összetett élet	147
18. Anthony Hallam úgy látja, hogy nemcsak az árfolyamok ugrálnak, hanem a tengerszint is	153
19. Joseph Kirschvink hógolyóként gurigázik a Földdel	161
20. Trond Torsvik összelegózza Pangea atyját, Rodiniát	169
21. Kitekintés: a Föld és a földi élet jövője. A galaktikus naptár szerint 13 év múlva mind megsülünk...	177
Összefoglalás	181
Geológiai „Nobel-díjasok”: a Vetlesen-díj elismerésében részesült kutatók 1960 – 2020 között	193
A Wollaston Érem díjazottjai	195
Magyar hozzájárulás a dinamikus Föld eszméjéhez: Horváth Ferenc	197
Köszönetnyilvánítás	199
Kisszótár	201
Irodalom	211
Név- és tárgymutató	219

## Bevezető gondolatok

**S**ok, lemeztektonikáról vagy a Föld-Rendszer szélesebb témájáról írt könyvet olvastam már, amiket következetesen eltérő módon és stílusban írtak, ennek az izgalmas témának egy-egy jellemző aspektusát kiemelve. Nyilvánvaló, hogy ezeknek a könyveknek egy részét a földtudományokkal foglalkozó szakembereknek írták, míg más szerzők szélesebb közönséget céloztak meg, ami szükségszerűen megköveteli a téma népszerűtudományos megközelítését.

Bujtor László könyve meglepett eredeti stílusával; azzal, ahogy a témát megfogja és bemutatja annak a gondolatnak a fejlődését, amely elvezetett a dinamikus Föld koncepciójához. Azon tudósok életének és hozzájárulásának bemutatása, akik szerepet játszottak annak a bolygónak és folyamatainak a megértéséhez, amit sokan a valószerűtlenség bolygójának hívnak, szokatlanul friss és újszerű módja ezen üzenet átadásának.

A könyv szerzőjét, aki alapvetően paleontológus, dicséret illeti a könyv szereplőinek gondos és alapos összeválogatásáért és azért, hogy egyáltalán nem részrehajló, hiszen nem kizárólag geológusokat, geofizikusokat és paleontológusokat válogatott könyve főszereplői közé, hanem meteorológust, fizikust, biológust, klímakutatót, sőt, még geológusból lett űrhajóst is... Egyértelmű, hogy az a tudás, amivel jelenleg Földünket illetően rendelkezünk, összességében igényli mindazon kiváló elmék közreműködését, akik nélkül lehetetlen áttörni a tudományok közti határvonalakat és elérni a Föld-Rendszer értelmezését, eszméjét és szellemi magasságát.

Ezen könyv sokszínű és változatos tudóstablóján, mely szerzőjének némiképp szokatlan válogatása, szerepelnek paleontológusok is. Magyar emberként engedjék meg, hogy egy sziklaszilárd őslénytani megfigyelést emeljek ki, amely hazánkban az 1970-es évek elején tényanyaggal látta el a lemeztektonikai gondolkodást. Akkoriban, a vasfüggöny mögött, bizony ez még egyáltalán nem volt elfogadott gondolat és eszme. Amire gondolok, az Géczy Barnabás professzor munkája, ami megvilágította azt a rejtélyes ősföldrajzi „inverziót”, ami a mezozoos ammoniteszek magyarországi előfordulását jellemzi. Magyarország déli részén, a Mecsek-hegységben található ammonitesz-faunák Géczy úttörő kutatásai alapján a hajdani Tethys-óceán északi pereméről származnak, miközben a hazánk északi területein, elsősorban a Bakony-hegységben található ammonitesz-faunák ezen ősi óceán déli szegélyére jellemző jegyeket mutatnak. Ez a látszólag ellentmondásos és tökéletesen értelmetlen megfigyelés ösztökélte azon modell felállítását, mely szerint a Kárpátok koszorúján belül kisméretű mikrokontinensek vannak (melyek közül az egyik, a Tisza-mikrokontinens, ami Magyarország csaknem fele területének aljzatát alkotja), amelyek a földtörténeti újkor során, nagyléptékű laterális mozgásokkal és többféle irányú forgó mozgással kerültek egymás mellé, jelenlegi helyzetükbe.

Őszintén mondom, igen nagyra értékelem ezen kiemelkedő tudósok életének olykor apró részletekbe menő és jellemző momentumainak bemutatását, amiket a szerző szorgos munkával gyűjtött össze számunkra, mert magam sem ismertem minden részletet. Éppen ezért, a könyv olvasása során jó párszor volt „aha”-érzésem és a megvilágosodás pillanatait éreztem. Tiszta szívemből remélem, hogy ezen kiváló könyv olvasóinak többsége megtapasztalja ezeket a megvilágosító pillanatokat, függetlenül attól, hogy milyen tudományos háttérrel veszik kézbe ezt a könyvet, vagy csak alkalmi intellektuális vonzalom hajtja az olvasót a könyv elolvasására.

Általános és az egész könyvre vonatkozó megjegyzésem az, hogy igencsak élveztem szerzőjének a tudomány valós működésére vonatkozó lábjegyzeteit. Szép példa erre az, amikor a szerző megírja, hogy nemcsak egy fajnak kell szerencse ahhoz, hogy túléljen és fejlődjön az evolúció embert próbáló folyamatában, de a tudósok is ugyanezt teszik saját pályafutásuk során. A könyv olvasása során a szerző számos helyen emlékeztet bennünket arra, hogy a kiemelkedő tudományos eredmények vagy áttörések,

amiket ma már széles tudományos és általános elfogadás igazol, nyomasztó fölényvel olyan tudósokhoz kapcsolódnak, akik „jókor voltak jó helyen”. Meg kell állapítsuk, hogy a tudományos siker számos olyan elemet igényel és foglal magába, amit a híres mondás, azaz „a legalkalmasabb túlélése” paradigmája fogalmaz meg számunkra.

Számos mély, filozófiai jellegű gondolatszilánk jelenik meg ebben a könyvben, különösen a könyv vége felé. Ezek közül idézek néhányat: Hogy állunk jelenleg a „valószerűtlenség bolygójának” megértésével? A lemeztectonika aranykorának végleg leáldozott? Ma már persze tudjuk, hogy a jelen nem mindig kulcsa saját múltunk megértésének. Elég csak azt felidézni, hogy mai tudásunk alapján a lemeztectonika valóban csak hárommilliárd évvel ezelőtt kezdett el működni. A Föld-Rendszer tudomány holisztikus megközelítése folyamatosan szélesedő és bővülő tudásunk tükrében egyre több és több együttműködést igényel azon tudósok között, akik eddig kizárólag saját tudományterületükre koncentráltak.

Engedjék meg, hogy bevezetőmet egy olyan gondolattal zárjam, ami a klímaváltozásra és Földünk energiaáramlására vonatkozik. Olyan utazás részesei vagyunk ugyanis, amelyre mi, emberek, valamennyien jegyet kell váltssunk annak érdekében, hogy megmentsük saját, és egyetlen bolygónkat. Ebben a vállalkozásban minden, földtudományokkal foglalkozó szakembernek kiemelt felelőssége és megkülönböztetett tennivalója van. És ez a küldetés a közvélemény látásmódjának a geotudományok vonatkozásában történő formálása és alakítása. Ez a könyv remek példája ezen erőfeszítésnek és csak remélni tudom, hogy szerzője folytatja majd hasonló, könnyen érthető és olvasható, ám tudományosan kikezdzhetetlenül megalapozott keretek közt írt munkáival.

Bécs, 2022. december

*Tari Gábor*  
az OMV főgeológusa,  
az MTA külső tagja



## Előszó

**E**gy-egy új tudományos paradigma vagy gondolat sokszor ugyanannyi időn keresztül tör utat magának, mint amennyi ideig uralkodik az adott tudományon belül. Bolygónk, a Föld szépséges példát ad az ilyesfajta paradigmák fejlődésére és egymásra következésére. A geocentrikus világképben Földünk a mindenség központja volt, és ptolemaioszi világképként évezredekig keresztül uralta az emberi gondolkodást. Kopernikusz heliocentrikus rendszere 1540-ben jelenik meg, és alapjaiban formálja át világképünket. A heliocentrikus világkép trónfosztására már nem kellett ennyit várni, az 1920-as években Edwin Hubble kutatásai bizonyították, hogy nem Napunk a világegyetem központja, mi csupán egy galaxis peremén csücsülünk az Univerzum végtelen ölében. Nincs itt semmi látnivaló! A Nap egy átlagos csillag, átlagos helyzetben egy átlagos galaxis peremvidékén, megesett már ez sokszor a galaxisban.

Hát jó – mondhatnánk, hiszen tényleg nincs itt semmi látnivaló. Ám felmerül a kínzó kérdés: Hol vannak a testvéreink? Ha ennyire közönségesek vagyunk, akkor semmi sem indokolja azt, hogy ne legyenek testvéreink! Az ellentmondásos kérdést elsőként Enrico Fermi vetette fel, és azóta Fermi-paradoxonként vult be a tudománytörténetbe: ha olyan könnyű és átlagos az élet keletkezése, akkor hol vannak a többiek? – tette fel a kérdést Fermi 1950-ben. S bár Fermihez kötjük, mégis egy orosz tudós, Ciolkovszkij volt az első, aki a kérdést felvetette egy 1933-ban kelt kéziratában.

Tényleg, hol vannak a többiek? Matematikai alapú becslést az idegen létformák valószínűségére elsőként a csillagász-asztrofizikus Frank Drake adott 1961-ben. Formulájával azt célozta,

hogy a formálódó SETI-közösség tagjai élénk vitába keveredjenek egymással az intelligens élet (és technikai civilizáció) valószínűségéről és lehetőségeiről ebben a galaxisban.

Az intelligens lények felkutatására azóta számos program indult, legismertebb köztük a SETI: *Search for Extraterrestrial Intelligence*, azaz kutatás a földönkívüli élet után. 1960 óta zajlanak mindenféle kísérletek jelek küldésére és fogadására, a legkisebb eredmény nélkül. Tényleg egyedül lennénk? Ennek a kérdésnek a megválaszolása nem célja könyvemnek, ám az igen, hogy mai tudásunk alapján a Föld mégiscsak különleges bolygónak tűnik: nemcsak a Naprendszerben, de azon túl is...

Amikor a NASA 2022 márciusában bejelenti, hogy felfedezték és független mérésekkel megerősítették az 5000. exobolygó létezését, akkor izgatottan várjuk a további híreket: mennyi ezek közül a Föld-típusú, vagy legalábbis Föld-szerű bolygó? A NASA szerint mindössze 4%, azaz 200 szilárd felszínű kőzetbolygót azonosítottak közülük, de egyetlen esetben sem bizonyították víz (folyékony, fagyott vagy gőz) jelenlétét. Meglepő. Persze a mérés-technika fejlődésével lehetségessé válik ezen 200 távoli bolygó légkörének elemzése is (ami a 2022 júliusától képeket és adatokat szolgáltató James Webb űrteleszkóptól várható), ám mégis: többzernyi exobolygó közül mégiscsak a legkülönlegesebb a saját bolygónk... A Föld tehát különleges jelentőségű bolygó galaxisunkban, de a Naprendszer belső, szilárd felszínnel rendelkező, úgynevezett kőzetbolygói közt is. Mai tudásunk alapján számos olyan tulajdonsággal bír, ami egyetlen, hasonló méretű, vagy felépítésű bolygótestvére sem jellemző. Ezek az alábbiak:

- elektromágneses védőernyő
- a keringés síkjával kis szöget bezáró forgástengely
- a bolygót teljesen behálózó élet
- nagy méretű, a keringést és pályát stabilizáló hold
- a víz jelenléte mindhárom halmazállapotban
- szabad oxigén jelentős mennyiségben a légkörben
- lemeztektonika jelensége
- intelligens élet jelenléte
- technikai civilizáció jelenléte

És ezzel bele is estem volna az antropomorfizmus csapdájába, ahogy sok-sok neves és híres előd tette? Talán mégsem. Mert rendkívül érdekes, hogy a korábban tipikusan földinek gondolt



vulkanizmus jelenségét immár több, a Naprendszerben keringő bolygón megtaláltuk: a Vénusz palacsinta-vulkánjai mellett a Naprendszer legnagyobb vulkáni komplexumát nem a Földön, hanem a Marson ismertük meg. Az Olympus Mons 26 km-re emelkedik ki a környezetéből és ezzel a Naprendszer legnagyobb hegyét adja.

Naprendszerünk legaktívabb vulkanikus területei – szerencsére – nem Földünkön, hanem a Jupiter-hold Ión találhatók. Ezeket a kénvulkánokat a Jupiter hatalmas tömegvonzásából ébredő árapály-erők éltetik, és jelzik: a földi értelemben vett geológiai aktivitás nemcsak a Föld bolygóra, hanem számos egyéb égitestre is jellemző a Naprendszerben. Lefokoznánk hát saját bolygónkat? Szó sincs róla! Földünk továbbra is élen áll különleges és komplex felszínével: a lemeztectonika jelensége (mely könyvünk egyik központi témája) egyedülálló az egész Naprendszerben, és megértése a XX. század második felének egyik legnagyszerűbb tudományos felfedezése. Teljes jelentőségét, szerepét a földi élet kialakulásában és fejlődésében még ma sem értjük egészen, ám egyre inkább tapasztaljuk, hogy elválaszthatatlan a földi élet fejlődésétől, alakulásától. Kölcsönösen hatottak (és hatnak) egymásra.

Modern, XXI. századi szemléletű Föld-felfogásunk csodálatos fejlődés eredményeként formálódott azzá a dinamikus, örök mozgásban-változásban álló bolygó képévé, ahogy manapság tekintünk planétánkra. Az 1980-as években jelenik meg a fogalom: *System Earth*: Föld-rendszer. Egymásba kapcsolódó, egymástól elválaszthatatlan folyamatok és rendszerek véget nem érő hálózata. Földünket ma folyamatos mozgásban lévő, dinamikus, az élő rendszerektől és az atmoszférától elválaszthatatlan egységben szemlélt szinte kibogozhatatlan bonyolultságú rendszerként látjuk, amelynek képe nagyjából százévnyi tudományos fejlődés eredményeként alakult ki. Néhány tucatnyi briliáns tehetségű tudós és kutató önálló, vagy csapatmunkájának eredményeként alakult át Föld-szemléletünk. Mindezen átalakulás kiindulópontja az 1957. július 1-jével elindított Nemzetközi Geofizikai Év volt, mely olyan szemléletformáló eredményekhez vezetett, melyek a földtudományok újkori forradalmát kiobbantották.

Persze a Nemzetközi Geofizikai Év nem önmagában áll. Hosszú előzménye volt, és a földtudományok modern kori fejlődésének alapjait nagyjából száz évvel ezelőtt, egy nem is szakmabeli,

hanem egy meteorológus fektette le szemléletformáló elméletével: Alfred Wegener.

Ám a geológia fejlődése az elmúlt száz évben elválaszthatatlan az őslénytan ugyanilyen mérvű fejlődésétől. Ahhoz, hogy Földünk múltbeli geológiai folyamatait megérthessük, a bonyolult összefüggéseket kibogozhassuk, sokszor az őslénytan több segítségét, támaszt ad, mint a kőzetek. Ezért a két tudomány elválaszthatatlan hozzájárulást adott ehhez a hatalmas fejlődéshez. Geológusok és paleontológusok generációi adták aprómunkájuk eredményét, mint értelmezendő adathalmazt és bizonyítékok tárházát annak a néhány úttörő, friss szemléletű elmének, akik ezen felmérhetetlen adathalmazt értelmes, nagyívű elméletekké és koherens képpé rendezték.

Természetesen a könyv összeállítása szubjektív. Ennek ellenére megpróbáltam egyfajta egyensúlyt keresni a geológia nagy területei között, és olyan tudósokat is beemelni ebbe a válogatásba, akiknek az eredményei talán nem bírnak akkora jelentőséggel a földtan egészére, mint saját tudományágukra nézve, mégis szerepelniük kell, hogy a földtan nagy tudományágait képviseljék és a geológia színes sokféleségét a maga teljességében reprezentálják. Ez hatványozottan igaz a könyv szereplőinek választott tudósok esetében, legfőképpen ahogy időben közeledünk a mához: sok esetben nem tisztult még le valódi szerepük és értékük. Meglehet, hogy néhányuk esetében az időbeli távlat másként értékeli őket – ám jelenleg a tudás frontvonalában állnak.

Bár a fejlődés az egyes tudományágak között nem volt egyenletes, minden részterületen születtek nagyszerű eredmények. Könyvem végigvonul egy igen fontos szerkesztési elv: olyan kutatók egymásba kapcsolódó, vagy egymástól függetlenül született felfedezései szerepelnek itt, amelyek egymásra épülnek, bolygónk egészének és globális folyamatainak megértését segítik és magyarázzák meg, és irányuk egységes: megteremtették a dinamikus, integrált, állandó mozgásban lévő Föld eszméjét.

Ha az érdeklődő olvasó a tartalomjegyzékre pillant, feltűnő, hogy túlsúlyban vannak az angolszász kutatók. Joggal tehetjük fel a kérdést: más nemzetek nem járultak hozzá a földtan fejlődéséhez? De, természetesen hozzájárultak. Itt van például az ukrán *Volodimir Vernadskij*, aki megteremtette a geokémia tudományát. Eredményeit és kiválóságát a nyugat is elismeri. De önálló szellemi csúcsteljesítmény ez, mely mint egy világítótorony

emelkedik ki korának társadalmából és nem vált kiindulópontjává a geológia egészét átható szemléletváltásnak. A szemléletformáló fordulat, a lemeztektonika elmélete ugyanis amerikai termék. Onnan terjedt el a világ többi részére és vált más nemzetiségű kutatók alapvető kutatási-értelmezési eszközévé is. Ez önmagában időbeli késést jelentett a nem amerikai/angolszász kutatók számára. Ezen túlmenően a természettudományos kutatás anyagi forrásaihoz történő hozzáférés is egészen más ezekben az országokban – a többi nemzet hátrányára. Mert valljuk be: a természettudományos kutatás, s benne a földtani-öslénytani alapkutatás pénzigényes tevékenység: expedíciók vezetése, laboratóriumi eljárások, drága mérőműszerek mind-mind szükségessé a nemzetközi szintű eredmények eléréséhez. Ám eddig ez lehetne öncélú elfoglaltság is, mindenféle társadalmi haszon nélkül. Mi hát a célja, haszna, értelme mindennek a közösség számára?

A "Cui prodest?" kérdésre a válasz egyszerű: nekünk, az emberiségnek használ. A földtani alapkutatás segít megismerni bolygónk múltját, melyből felvázolható jövője. Azok a rapid, a Föld fejlődéstörténete szempontjából feldolgozhatatlanul gyors folyamatok, melyeket ma az ember a saját bolygójára szabadít, kizárólag földtörténeti távlatban értékelhetők, hatásuk kizárólag hosszútávon prognosztizálható, és ezeket kizárólag a kőzetekből, a geológia és paleontológia nagy tudományai képesek kibontani. A földtani és öslénytani alapkutatások haszna végső soron tehát nem más, mint saját múltunk megértése és a jövőnk biztosítása: meddig mehetünk el, meddig terhelhető a bolygónk, hol van a határ, ahonnan már visszafordíthatatlanul változtatjuk meg ezt a gyönyörű bolygót és élő rendszereit.

A XX. század második felének talán legnagyobb hatású öslénytani kutatójának és ismeretterjesztőjének tartott Stephen Jay Gould egy könyvében örökíti meg azt a történetet, mely kiválóan példázza az alaptudományok előre jelezhetetlen, megbecsülhetetlen hasznát:

*A történet szerint az Északi-tenger szénhidrogénkutatásának kezdetén, amikor még nem voltak megbízható térképek a mélységbeli rétegsorokról, akkor az egyveretű kőzettestek tagolása bizony költséges időtöltés volt. A kőolaj ugyanis a felső jura és az alsó kréta rétegek közt foglalt helyet, ott halmozódott föl, ám szabad szemmel, pusztán ránézésre nem lehetett egymástól a*

jura és kréta korban leülepedett rétegeket megkülönböztetni. Ezekre az őslénytani vizsgálatok adnak választ. Történt tehát, hogy a tengeri platformon mélyített fúrást végig fúrómaggal vették (nem darálták le a fúró átmérőjének megfelelő teljes kőzetet, hanem annak közepét meghagyták) és amikor a fúrószerszámot kiépítették a lyukból, kisebbfajta csodaként a néhány centiméter átmérőjű fúrómagban egy ép ammonitesz fosszília került elő. Természetesen a meghatározásához specialista szükséges, ám ilyen a fúróplatformon nincs. A legismertebb ilyen ember több száz kilométerre, az Oxfordi Egyetemen található. Nosza, föltették a becses fossziliát egy helikopterre és az olajtársaság néhány menedzsere ellátogatott Oxfordba, James Kennedy professzorhoz. Tiszteletteljesen bejelentkeztek, majd a decens, sűrűkeöltönyös urak bekopogtattak Kennedyhez, kezükben az ősmaradvánnyal és egy csekkfüzettel. A kölcsönös udvariaskodást követően letették Kennedy elé az ősmaradványt, hogy ugyan már vessen egy pillantást rá. Kennedy fölvette, nézegette, hümmögött, majd visszatette az asztalra. A feszengő urak ekkor megkérdezték:

– Meg tudja mondani a korát, professzor úr? – kérdezték.

– Igen, meg tudom mondani – hangzott Kennedy válasza.

Ekkor az urak eléje tolták a csekkfüzetet (ne felejtjük, az 1970-es években járunk) és megkérték, hogy írjon egy összeget a csekkfüzetükbe. Kennedy gondolkodott, gondolkodott, majd beírt egy számára méltányosnak és kellően nagynak tartott összeget: 5.000 angol fontot.<sup>1</sup> Az urak rápillantottak, szemük se rebbent, aláírták a csekket és várták Kennedy válaszát. Amikor kiderült, hogy még a kréta időszakban leülepedett rétegsorban jártak, azonnal a kizárólagos méretű mobiltelefonjukkal (ó, azok az 1970-es évek...) odaszóltak a fúróplatformra (ahol addig leállt a fúrás), hogy mehet tovább a fúrás!

Az urak elbúcsúztak, Kennedy kikísérte őket, majd megszólalt:

– Uraim! Most én szeretnék kérdezni valamit.

– Tessék, professzor úr!

– Mennyi volt a plafon? Akarom mondani mennyit lettek volna hajlandók fizetni a határozásért?

A két sűrűkeöltönyös úr jelentőségteljesen összenézett és a magasabb beosztású így szólt:

– Félmillió angol font...

---

<sup>1</sup> A hazai viszonyok közt szocializálódott nyájas olvasó tapasztalatait feltételezve le kell szögeznem: a csekk nem Kennedy, hanem az Oxford University nevére lett kiállítva...

## Bevezetés

Charles Darwin *A fajok eredete* című műve a modern természettudományok közül mind a bio-, mind a geológiai tudományok fejlődését meghatározó alaplát volt. Ugyanakkor a biológia fejlődésének nagyobb lökést adott, mint amely mértékben a földtudományok fejlődését segítette. Ez már csak azért is érdekes, mert Darwin művére pontosan egy földtani munka, Charles Lyell *A földtan alapjai* című műve gyakorolt megtermékenyítő hatást. S míg a földtan *A fajok eredetét* követően csaknem nyolcvan évig változatlan felfogásban és szemléletben tekintett tárgyára, addig az evolúciobiológia, az örökléstan és a fejlődő műszeres mérési eljárások szépen csendben készítették elő a genetika forradalmát. Mi okozta, hogy ugyanaz a mű az élettudományokra sokkal nagyobb hatást gyakorolt, míg ugyanezt a hatást a földtudományok eszméjének átalakításában nem fejtette ki? Ebben a könyvben ennek próbálom meg utánajárni, és bemutatni, hogy az elmúlt száz évben kik voltak azok a tudósok, akiknek a munkája, szemlélete és eredményei alapjaiban alakították át a földtudományok szemléletét, fenekestől forgatva fel százéves meggyőződéseket és megrögzöttségeket. Ez a földtan tudományát átalakító hatalmas folyamat oda vezetett, hogy az 1990-es évek óta egészen másként látjuk a föld- és őslénytan tudományát: e két diszciplína a Földet, mint dinamikus, bonyolult visszacsatolásokkal rendelkező egységes organizmust képezi le, amelyben a biológia és geológia elválaszthatatlan egymástól, s az egésznek a hajtóereje a lemeztektonika elnevezésű folyamatrendszer, mely egyedüli és kivételes az egész Naprendszerben.

Visszatekintve a földtudományok elmúlt hatvan évnvi fejlődésére és az elért eredményekre, bizton kijelenthetjük, hogy a legnagyobb felfedezés, mely alapjaiban alakította át szemléletünket, hozzáállásunkat a földtan tudományához és annak műveléséhez, egyértelműen a lemeztektonika elmélete és minden földtani rész tudományra gyakorolt hatása volt. Ezen elméleti központból tekintve válik érthetővé minden további felfedezés, akár a földtan, akár az őslénytan tudományán belül keletkezett. Mindez a tudományos változás napjainkra a tudomány berkein túl a mindennapi ember életébe is átszivárgott, átalakítva az átlagember szemléletét saját bolygójáról. Nem, nem a dinoszaurusz-mániára gondolok, sokkal inkább arra, hogy megértettük: mennyire sérülékeny a saját bolygónk, mennyire egymásra utaltak a geoszférák a bioszférával és milyen érzékeny és kényes egyensúly tartja fenn ezt a csodálatos bolygót, a saját otthonunkat. Szoros egységben látjuk – különösen a földtörténeti múlt felől közelítve – a geodiverzitást a biodiverzitással, megértettük, hogy Földünk folyamatosan változó, megújuló felszíne ácsolja azt a színpadot, amin a biológiai sokszínűség megjelenik és egyre sokrétűbb, egyre szerteágazóbb fejlődést mutat immár százmillió évek óta. Ám ez a szemlélet igencsak friss és újkeletű és nem egycsapásra vert gyökeret. Lehetőségei még ma is szinte beláthatatlanok, és a földtan fejlődésének az újabb lökést az exobolygók kutatása és talán az első marsi emberes expedíció adhat majd. Ne feledjük: az első holdi kőzetmintáknak a Földre érkezése számos új elmélet megalapozásához adott cáfoló vagy alátámasztó bizonyítékot. Nem lesz ez másként az első marsi kőzetminták Földre érkezésével sem. A földtanban egyre inkább látható, hogy a nagy kérdés az lesz: mennyiben tipikus és mennyiben különleges jelenség a lemeztektonika? Kifejlődhetett-e vagy sem egyéb bolygókon, s ha nem miért? Miben különleges/egyedi vagy talán szélsőérték saját bolygónk? Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolása végső soron az Előszóban feltett kérdésre, azaz a Fermi-paradoxon feloldására is megadhatja a választ.

## 1. A véletlen szerepe

Az emberek általában, de a tudósok sem nagyon szeretik a véletlent. Nehéz vele mit kezdeni, kiszámíthatatlan, előre kalkulálhatatlan, elrontja a számításokat, összezavarja az előrejelzéseket. Ám a tudomány nagyon sokáig mégis úgy fejlődött, hogy megpróbálta a véletlen fogalmát és jelenletét a természeti folyamatokból egyszerűen kiiktatni, elkerülni.

Albert Einstein 1926-ban így válaszol egy levélre, amit a német fizikustól, Max Born-tól kapott:

*„...Az elmélet [kvantumfizika] számos jó megoldást kínál, ám aligha visz közelebb bennünket az Öreg titkához. Mindenesetre meg vagyok arról győződve, hogy Ő nem kockajátékos.”*

Úgy tűnik, hogy a kvantumfizikában mégsem Einsteinnek volt igaza, hanem Werner Heisenbergnek. A mi tárgyunkban, a földtudományokban is hasonló a helyzet, igaz ez csak néhány évtizeddel a fizikusok nagy felismerését követően alakult így. Ma már közhelyes Edward Lorenz mérőföldkőnek számító munkásságára hivatkozni a kaotikus rendszerek megértésében. Mindenki hallotta már a mondást: *Egy pillangó szárnycsapása Brazíliában tornádót okoz Texasban.* Lorenz rávilágított arra, hogy az időjárás rendszerek kaotikus természetűek, melyek igencsak érzékenyek a kiindulási feltételekre, ezért elvileg is lehetetlen megbízható hosszútávú meteorológiai előrejelzéseket készíteni. Lorenz elévülhetetlen érdemeket szerzett abban, hogy a mechanikus, kiszámítható, determinisztikus (alapvetően newtoni) világba vetett hitünket lebontsa, és bebizonyítsa: a szubatomi szintű kiszámíthatatlanság és bizonytalanság a makrovilágban is helyet követel, része életünknek. Nem, a bonyolult rendszerek nem kiszámíthatók, legtöbbszörük kaotikus, mint az időjárás rendszerek, és ezzel bizony meg kell barátkoznunk. A véletlennek tehát stabil helye van a tudományban és független a valószínűségtől!

Hasonló kínzó kérdéseket felvető új tudományág a fraktálgeometria, és az ebből fakadó törtdimenziók felismerése, valamint a természet számos jelenségének és folyamatának fraktáljellege, melynek mind a geológia, mind a biológia nagyon szép

példáit adja. Ismét egy nehezen érthető, de kétségtelenül jelenlévő mintázat a természetben, mely ugyancsak arra kényszerít, hogy friss szemléletben, új megközelítésben szemléljük a bennünket körülvevő anyagi világot.

Ezek a tudományos felismerések mind-mind rávilágítottak arra, hogy a geológiában ma már messze nem érvényesül a newtoni mechanika kiszámítható, előrejelző jellege. A kaotikus rendszerek, fraktálok és ezek megjelenése a Földünket formáló folyamatokban ma már beépültek a Földünk működéséről alkotott új elméletekbe, megközelítésekbe és bizony meg kell barátkoznunk a korábban szinte kezelhetetlen fogalom, a véletlen, vagy kiszámíthatatlanság állandó jelenlétével.

Tudományos kutatás és felfedezés elképzelhetetlen véletlen nélkül. Ezt a könyvet a nyomdából a könyvkereskedőkhöz minden valószínűséggel gumikerekű járműveken szállították, és nagy valószínűséggel a nyájas olvasó is akár a könyvesboltba menet vagy onnan jövet ilyen járművön utazott hazáig, vagy ha házhoz rendelte a könyvet futárszolgálattal, akkor biztosan ugyancsak valamilyen gumikerekű jármű szállította az ajtajáig. Márpedig a gumi vulkanizálását és ezzel a gumikereket *Charles Goodyear* 1839-ben teljesen véletlenül fedezte fel, amikor a kísérleti sütőben felejtette a nyersgumit, ahol még véletlenül kén is volt. Amikor visszajött, és valami furcsa szagot érzett, a sütőhöz rohant, felrántotta az ajtaját és meglepődve látta azt, hogy a nyersgumi – a kén hatására – megszilárdult és végre a keresett, rugalmas, mégis ellenálló anyaggá vált! A motorizáció robbanásszerű elterjedéséhez legalább annyira kellett Goodyear véletlen felfedezése, mint Henry Ford tudatos újítása a futószalag alapú gyártósor megtervezésével, aminek ötlete egy vágóhídi látogatáson jutott eszébe, amikor az egymás mellé lógatott félsertéseket meglátta. Ahogy a konvejsorokon a félsertések szépen haladtak egyik munkaállomásról a másik felé, kipattant fejéből a nagy ötlet. Ha valaminek a szétszerelésére a leghatékonyabb eljárás a futószalag, akkor bizonyára úgy van valaminek az összeszerelésére is – ezzel megszületett a modern autógyártás koncepciója, a folyamatosan mozgó összeszerelőszalag.

Persze a motorizáció is elképzelhetetlen a geológia nélkül. Hiszen a geológia és a geofizika tudománya együttesen képes előrejelzést adni arra, hogy a föld mélyén hol keressünk szénhidrogéneket, melyekből üzemanyag készül.



A földtan tudományában azonban rendszerint nem a véletlen (vagy elrontott) kísérletek vezetnek hatalmas felfedezéshez, hanem a terepi munka során véletlenül előkerülő kőzetek és ősmaradványok, vagy amikor egy-egy mérésorozat során egyáltalán nem a várt adatsorok jelennek meg a kijelzőkön. A véletlen jelen volt és jelen lesz a geológia tudományának fejlődésében.

### 3. A tudományos közösség szerepe

Egy-egy elmélet elfogadásának, egyáltalán a tudományos közvélemény elé jutásának elengedhetetlen kelléke az a társadalmi beágyazottság és kulturális szövet, amiben a tudós alkot és közzéteszi felfedezéseit. Egyáltalán nem mindegy, hogy ez a közeg támogató, elutasító, vagy csak egyszerűen közömbös. Van, aki világraszóló felfedezését egy olyan közegben végezte, amely jellegénél fogva alkalmatlan volt arra, hogy az abban dolgozó eredménye belekerüljön a tudomány fősodrába. Talán a legismertebb példa erre *Georg Mendel* (1822–1884) esete, aki Ágoston-rendi szerzetesként nem volt a kor tudományos vérkeringésének része, s bár Darwin kortársa volt, nem álltak kapcsolatban egymással. Darwin műve 1859-ben jelent meg, Mendel a saját öröklődésre vonatkozó megfigyeléseit 1866-ban publikálta. Ám tudományos elzártsága ellenére Mendel ismerte Darwin művét. Hogy Darwin tudott-e Mendelről és műveiről? A tudomány kategorikus válasza erre a kérdésre az, hogy nem! Mendel munkája hatástalan maradt, közvetlen környezete nem is igazán értette, mialatt Darwin evolúciós elmélete diadalútját futotta. Mendel temetésén rendtársa így búcsúzott tőle: „...csöndes, visszahúzódó ember volt, aki kedvelte a virágokat.” A munka elsüllyedt, s csaknem fél évszázaddal később fedezik fel ismét, és új felfedezőik felismerik, hogy előttük Mendel már feltárta azokat, ezért tisztelőre róla nevezik el azokat Mendel-féle törvényeknek, vagy az öröklődés törvényeinek.

Számos hasonló példát ismer a tudománytörténet. Ám ahhoz, hogy egy elmélet előbb-utóbb győzedelmeskedhessék, előbb be kell jutni a tudományos élet vérkeringésébe. Ez megtörtént Alf-

red Wegenerrel és elméletével. Kettejük története az elmélet napvilágra kerülése, majd egyöntetű elfogadása és győzedelmeskedése között csodálatos bizonyítékát adja annak a gondolatnak, amit a Nobel-díjas fizikus, Max Planck mondott egyszer:

*Egy új tudományos igazság nem azzal győzedelmeskedik, hogy ellenzőit meggyőzi és látni engedi számukra a fényt, hanem sokkal inkább azzal, hogy ellenzői szépen lassan kihalnak, és felnő egy új generáció, aminek tagjai már természetesnek és megszokottnak tartják azt...*

Egy tudós emberi nagysága nem az általa létrehozott szellemi alkotáson (felfedezés, törvény, összefüggés, képlet stb.), hanem emberi értékein, a világról alkotott képén keresztül érthető meg. Max Planck mondásának nagyságát, mélységét és valódi értékét akkor érthetjük meg igazán, ha összevetjük egy másik ember véleményével: *Sir Harold Jeffreys*-ről van szó, aki ugyancsak heves ellenzője és kritikusa volt Wegener elméletének és az abból kivirágzó lemeztectonikának:

*„Elképzелhetetlen! „Ki van zárva!” „Nyilvánvalóan nem létezik olyan erő, ami képes lenne a kontinenseket mozgatni!”*

Az 1960-as években, amikor a hegyé magasodó bizonyítékok már mindenkit meggyőztek az elmélet igazáról, sem adta be a derekát, és egészen 1989-ben bekövetkezett haláláig megrögzött és makacs ellenzője volt a lemeztectonika elméletének. Még akkor is, amikor a modern geológia és a dinamikus Föld eszméje megszületett és sikerrel adott magyarázatot a geológia sokáig megoldatlan kérdéseire.

Max Planckot nemcsak zseniális felfedezései, hanem bölcsesége és emberi nagysága egyaránt a legnagyobb tudósok közé emelik.

## 4. fejezet

### *Norman Bowen: kristályosodó tudás*



Norman L. Bowen (1887–1956) kanadai petrográfus. 1950-ben neki ítélik a Wollaston-érmet. A MIT-en szerezte doktori fokozatát a kanadai származású Bowen, aki 1933-ban kapta meg az amerikai állampolgárságot. Nyugdíjba vonulásáig a Washingtoni Carnegie Intézetnél dolgozott kisebb megszakításokkal. Oktatott a kanadai Queen's és a Chicagói Egyetemen. Ő volt az első modern értelemben vet petrográfus, aki sikerrel egyesítette a terepi munkát a laboratóriumi kísérletekkel és elméleti munkával. 1922-ben Pentti Eskolával együtt a Carnegie Intézetnél dolgoznak, és pályafutásuk egy-egy kiemelkedő cikkét ebben az időszakban publikálják.

### **1928:**

kiválási sorok, avagy a magma nem tésztaként készül  
a Föld gyomrában

Az 1910-20-as évek a kőzettanban is forradalmi időszaknak számítottak. Ekkor fedeztük fel a Föld gömbhéjas és bonyolult belső felépítését, ekkor jelent meg Wegener nagy vihart kavarázó kontinensvándorlási elmélete és ekkor szembesültünk Földünk több milliárd éves korával. Ebben az időben alkot Eskola, és vezeti be geológia tudományába a metamorf fácies fogalmát. „Illő volt” tehát, hogy a magmás kőzettan tudománya is előrukkoljon valami világraszólóval.

Amikor kísérleti tudományra gondolunk, általában nem a geológia ugrik be elsőként. Kísérletező tudomány a fizika, a kémia, még a biológia egy része is, de a geológiát általában leíró tudo-

mánynak tartjuk. A geológus fogja a hátizsákját, kalapácsát, ki-megy a terepre, kopácsolja a kőzeteket, mintát gyűjt, amit labora-tóriumban elemez – de nem kísérletezik. Ugyan mivel is tehetné? És hogyan?

Ismét van tehát egy olyan területe a geológiának, amely addig ismeretlen volt: a kísérleti kőzettan. Ennek a tudománynak a megteremtője volt Norman Bowen. Megint egy tehetséges kutató, aki jókor volt jó helyen, és tehetségével a tudomány éppen összeálló elméleti-kísérleti eszköztárát alkalmazva olyan felfedezéseket tett, amelyek tudományágának fejlődését száz évre előre megalapozták.

Bowen a magmás kőzetek kristályosodási folyamatainak vizsgálataira alapozta meg a kísérleti petrográfia tudományát, és vizsgálta a földkéreg egyik leggyakoribb ásványának, a plagioklásznak a fázisátmeneteit. Persze kérdezhetjük, hogy ugyan mi köze a metallurgiához jóval közelebb álló kiválási soroknak és fázisátmeneteknek a modern geológiához, ám alaposabban vizsgálva a kérdést rájövünk: nagyon is sok. Ennek megválaszolása hordozza ugyanis azt a tudást, mellyel felvértezve megérthetjük a kőzetek létrejöttét, ásványos összetételét, szövetét, azt, hogy miért pont azok az ásványok és abban a formában jelennek meg egy-egy kőzetben, ahogy szilárd és szobahőmérsékletű állapotukban ismerjük azokat. A kor kőzettanának központi problémája volt a gránitfélék keletkezése, ennek elmélete és magyarázata, ami komoly fejtörés elé állította a kor kutatóit, akik képtelenek voltak egységes képpé formálni megfigyeléseiket.

Nagyon sokan a XX. század legnagyobb formátumú petrográfusának tartják. Kiemelkedő szerepe volt a kőzetalkotó ásványok fázisdiagramjainak kidolgozásában.

De ne szaladjunk ennyire előre. Ugyanis igencsak tanulságos az indulása és a pályája, ami (ismét) jól mutatja, hogy ha a tehetség támogatást (lehetőséget, szabadságot és anyagi forrást) kap, akkor világraszóló eredményeket hoz. Huszonöt évesen, friss doktori diplomájával a zsebében elfogadja a washingtoni Carnegie Intézet Geofizikai laboratóriumának állásajánlatát és a földkérget felépítő leggyakoribb ásvánnyal, a plagioklász földpáttal, azaz az *albit*–*anortit* rendszerrel kezd foglalkozni. A jó hely tehát megvolt. És megvolt számára a megfelelő időpont is, hiszen nem az alapoktól kellett építkezni. Már ismert volt az anortit ásvány olvadáspontja (1553 °C) és ugyan még gyerekcipőben járt a kísér-

leti technológia a magas hőmérséklet előállítására, fenntartására és szabályozására, de a Carnegie Intézet kőzetlaboratóriuma pontosan a megfelelő hely volt a kísérletezésre. És Bowen volt az alkalmas ember a feladatra. Nemcsak elméletben és a laboratóriumban volt remek szakember, hanem briliáns terepi megfigyelő is volt. Célul tűzte ki annak megmutatását, amit akkoriban már elméletileg megjósoltak, de senki sem tudta bizonyítani. Ez pedig a kőzetek ásványainak és a kőzetek keletkezésének kísérleti vizsgálata, azaz olyan hőmérsékleti és kémiai feltételek teremtése, amelyek mellett pontosan olyan kőzet hozható létre, mint ami a természetben megfigyelhető.

Bowen kísérleti munkájában nemcsak az segítette, hogy remek geológus volt, hanem az is, hogy képzett kémikus. Így a kőzeteket nemcsak kalapálható kőzettestként, hanem vegyületként, ötvözetként is tekintette, mely a problémamegoldásban óriási segítségére volt. Emellett karakán jellem volt. Az anekdota szerint doktori disszertációjának a védésen történt az alábbi eset, amit bizonyos R.E. Gibson úr jegyzett fel, amikor egy kiváló geológus feltette az első kérdést Bowennek:

*– Bowen úr, legyen oly kedves mondja el nekünk a magmás kőzetek keletkezését!*

*Bowen mélyen a bizottság tagjainak a szemébe nézett, majd így válaszolt:*

*– Uraim! Azt kívánják tőlem, hogy olyan választ adjak, amiről tudom, hogy hallani akarnak, vagy azt szeretnék, hogy olyan választ adjak, amiről azt gondolom, hogy helyes válasz?*

Ezt követően a szóbeli vizsga átalakult Bowen monológjává, több kérdést a díszes bizottság tagjai nem tettek fel, és Bowen teljes sikert aratott.

\*

Bowen zsenialitását hamar felismerték. Mindössze három évvel azután, hogy munkába állt a Carnegie Intézetnél, publikálja korszakalkotó művét a magmás kőzetek eredetéről, amiben levezeti, hogy a legtöbb, de talán valamennyi magmás kőzet eredetileg bazaltos magma volt, ami kristály-differenciálódással (8. ábra) alakult ki és a differenciálódási folyamat végén előállnak a

korábban megmagyarázhatatlan eredetűnek vélt gránitos kőzetek. Oly forradalmi megközelítés volt, hogy minden, korábban elfogadott magmás kőzetkeletkezési elméletnek ellentmondott. Lett is belőle nagy ramazúri... Ez később is jellemezte úttörő kutatásait.

Amikor 1948 tavaszán az Amerikai Geofizikai Szövetség ülésén ismertette a fázisegyensúly elméletét, megfigyelte, hogy egyik kollégája folyamatosan sugdos valamit a mellette ülők fülébe. Másnap az alábbi levelet küldte a kiváló kollégának:

1948. április 29.

*Kedves Gilluly professzor!*

*Néhány évvel ezelőtt alkalmam nyílt a sajról olvasás művészetét elsajátítani, melynek birtokában tegnap, amikor előadásomat tartottam, megfigyeltem, hogy minden elhangzott mondatom után Ön azt mondja: „Lószart!” Nyilvánvalóan különös jelentőséget tulajdonított az előadásom címében is szereplő egyensúly, equilibrium szónak és emlékeztette magát és a környezetét a vita lényegére. Ön azonban minden bizonnyal tévedésben van az „egyensúly” [equilibrium] szó eredetét illetően. A szó ugyanis nem a ló = Equus és libria = elhullott, elszabadult, leesett szavakból származik, hanem bizony igencsak eltérő eredete van. Ha egyeztetne egy kémikussal, bizonyára gyorsan megismerné a szó valódi jelentését. Engedje meg, hogy hozzáfűzzek még valamit: úgy érzem, hogy a geológiai körökben oly magas pozíciójú ember, mint Ön, igazán helyezhetne némi hangsúlyt a társtudományokkal közösen használt szakkifejezések jelentésének ismeretére.*

*Remélve, hogy Ön nem neheztel meg rám a kügazításom és javaslatom miatt,*

*maradok őszinte tisztelettel híve*

*Norman L. Bowen*

Gondolhatják, milyen mély barátság alakult ki ezen két ember közt... Ezt követően, amikor csak egy-egy konferencián találkoztak, hasonló csörték zajlottak köztük. Amikor Bowennek ítelték a Penrose-érmet, csöndesen megjegyezte, hogy ez csak azért történhetett, mert Gilluly professzor visszavonult a díj jelölőbizottságából.

És még azt mondják, hogy a tudósok sötlan emberek!