

A SZERKEZETI HIERARCHIA ÉS A FÖLÉPÍTÉS-LEBONTÁS (SZÉTSZEDEM-ÖSSZERAKOM) ELV

Bérczi Szaniszló
ELTE, Anyagfizika tanszék

Törekvések a természettudományok hatékony oktatására

A természettudományok a közoktatás fontos részét képezik, ezért megkedveltetésük folyamatosan napirányban lévő feladat. Az oktatási formák frissítését kívánja a változó élet is, az egyre összetettebbé váló világ működésének megértése céljából. Írásom egy olyan nézőpontrendszerrel mutat be, amely több természettudományos tantárgy tanítását is segítheti és a tanárképzés során is előnyöket jelent az egyetemi hallgatók fölkészülésénél. Ez a nézőpont a jelenségek szinteken átnyúló kapcsolati rendszerét teszi láthatóvá. Kiemelkedő szerephez jutnak benne a szinteket meghatározó állandóságok.

Amikor az anyagtudományt a lehető alkalmazásokkal együtt építjük föl, akkor természetes elindulásnak kínálkozik az anyagokhoz történő *kétféle megközelítés*. Az anyagokat egyrészt vizsgálat tárgyává tehetjük és elemezhetjük (szétszedhetjük, javított szerkezettel rakhatjuk össze stb.). Másrészt az anyagokat tekinthetjük fölhasználásra váró nyersanyagoknak, építőelemeknek is. Ez a kétféle megközelítés alapvetően két tudományági irányt jelöl ki. Az első: az *elemző nézőpont* kutatja az anyag belső szerkezetét, analitikus szemléletű, és a természettudományok világába vezet el bennünket. A második: *a fölhasználó* az anyagokból építő szemlélet a mérnöki tudományokhoz vezet el. Ezt az anyagok vizsgálatánál használt stratégiát az *1. táblázatban* mutatjuk be [1, 2].

Először foglalkozunk az anyagot vizsgáló ismeretrendszer kiépülésével. Kedves példám a NASA-holdkőzetek bemutatón egy geológiai példásor. A szerkezeti fölbontás a geológia természetes adottsága, hiszen egyszerre vizsgál az embernél jelentősen kiterjedtebb és az embernél számottevően kisebb anyagi rendszert: a hegységet, és a belőle vett kőzetmintát. A szétszedem-összerakom elv azzal indul, hogy föltér-

A szerző megköszöni *Radnóti Katalinnak*, hogy javaslataival segítette a cikk jobbá tételét.



Bérczi Szaniszló az ELTE-n szerzett fizikuscsillagás oklevelet (1975), doktorált matematikából (1987), majd lett a földtudomány (planetológia) kandidátusa (1995). 42 éve tanít az ELTE TTK-n. A planetológiában, kozmikus és földi anyagvizsgálatokban, a szimmetria, valamint az eurázsiai műveltségek fejlődésének témakörében végez kutatásokat. Egyik fő munkája a *Kristályoktól bolygótestekig* című monográfia (Akadémiai Kiadó, 1991). A köz- és a felsőoktatás részére úrszondamodell fejlesztésében vesz részt.

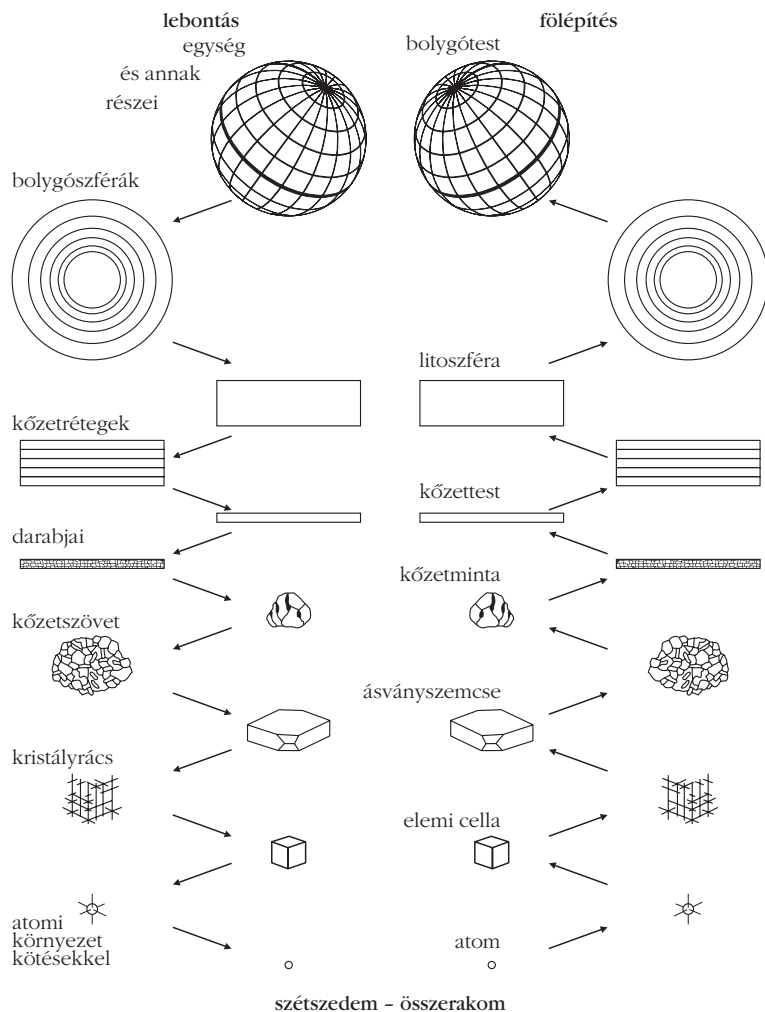
1. táblázat	
Az anyagvizsgálat természettudományos (rendszer) és mérnöki (eszköz) szemlélete	
rendszer	eszköz (építőelem)
fő célja az anyagok vizsgálata fölbontása, egyre kisebb alkotóelemekre szedése, ezek analitikus vizsgálata, az elemek közötti kapcsolatok szerveződésének föltárása	fő célja az anyagok tulajdonságainak összehasonlítása, belőlük a legalkalmasabbak kiválasztása, az anyagok előnyös szerepének fölismerése
kulcsszavak	
az elemzői oldal: összetétel, szerkezet	a fölhasználói, építői oldal: tulajdonság, funkció

képezem a kőzettestet, például a Badacsony tetején fekvő hatalmas bazalttestet, majd mintát veszek belőle – egy öklömnyi nagyságú „kézipéldányt” –, és azt további vizsgálatra a laboratóriumba viszem.

Vannak olyan kőzetek, amelyek kézipéldányán már megfigyelhető az összetettség következő lépcsője: a kőzet ásványokból áll. Vékony csiszolatot készítve ez minden kőzetnél megfigyelhető. Ez egy 30 mikrométer vastagságú, 2×4 cm-es üveglapra fölragasztott, áttetsző preparátum, amelyet kőzettani mikroszkóppal lehet tanulmányozni.

A kőzettesteket térképező geológiától, a kőzetek kialakulását tanulmányozó kőzettanon át eljutottunk az ásványokat tanulmányozó ásványtanig, de minden „tudományági emeleten” csak rövid ideig tartózkodunk. Ebből már látszik, hogy a *szerkezeti hierarchia* építése tantárgyanként megismert tudományágakat is összekapcsol amellest, hogy a vizsgált anyagi rendszer ugyanattól a nagyobb rendszertől indult el, és szervesen bontja föl a vizsgálati anyagot. Szervesen összetartozó alrendszereket mutat be. Kétségtelen, hogy az ásványokhoz érkező fizikai föltárás különböző irányokba is elindulhat: vizsgálhatja a mágneses alrendszerekre bontást, eljutva például a mágneses doménekig, majd az atomi és részecske szintű mágneses jelenségekig. Egy másik ágon haladva, röntgenkristallográfiával megmutathatja a kristályrács szerkezetét. Kémiai megközelítéssel eljuthat a molekulák, atomok világáig és sugárzásos vizsgálatokkal az atommagokig. Mindez csak érzékelteti azt, hogy a szétszedéses vizsgálat a különféle alrendszerek vizsgálatával mégis egységes képbe rendezi az anyag szerkezetét a *geo-, fiziko- és kemovonalakon*.

A megfigyelhető állandóságok sorozatából előttünk áll egy hierarchia, amely *egymásba ágyazottsági* sort is képvisel [3]. Egy adott szintig vitt szétszedés során a



1. ábra. A Földtest szerkezeti hierarchiája a geoszférától bontva. Első példánk ennek a kőzettést és az atomi szint közötti szakaszát említi. A bal oldali oszlop a szétszedés, a jobb oldali oszlop az összerakás szempontjából nyilazza az irányokat a szerkezeti szintek között.

szétszedés szintjén található készletek, a szereplők gyakorisága, energetikai viszonyai is fontos jellemzői lehetnek e szintnek. (Például az atomok szintjén a variációs készlet a kémiai elemek periódusos rendszerében szereplő elemek, ezek gyakorisága lehet például a kozmikus elemgyakoriság, energetikájukra jellemző lehet például az ionizációs potenciál).

Egy nagyobb rendszert minél több ilyen szintre tudunk fölbontani – ismereteink alapján –, annál árnyaltabban, többféle kölcsönhatásból tudjuk azt (gondolatban) megépíteni. Tekintsünk például egy bolygótestet. Szétszedési sorozatát mutatja az 1. ábra. Rendszerének elemzését, szétszedését erőtereivel (gravitációs, mágneses) kezdhetjük, folytathatjuk a geoszférákkal, majd ezek egyikénél – például a litoszféránál – folytatva a szétszedést, fölbonthatjuk rétegtani sorozatokra, és ezek egyik alrendszerénél jutunk el az említett badacsonyi bazalttréteggig, egy kőzettestig, ahonnan már ismerjük a fölbontást (1. ábra).

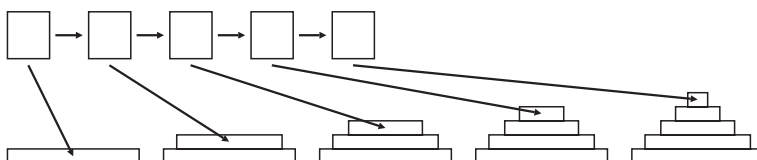
Egy anyagvizsgálati tantárgyi vizsgához ennyi talán elég is lehet. De a szerkezeti

hierarchia vizsgálatának összképbe rendező munkái ezzel csak elkezdődtek, hiszen számos más tudományág a saját vizsgálati tartományában is elvégzi a fölbontást. Mielőtt ezeket is bevonnánk a szintézisbe, mutassunk be egy másik fölhasználási szempontot is. Ennek rövid összefoglalása az lehet, hogy a műszaki alkalmazások is, időben előre haladva, egyre összetettebb szerkezeteket építettek össze. E szerkezetek a szerkezeti hierarchia újonnan megismert mélyebb rétegeit hasznosították, egyre mélyebbre jutva a szerkezeti lépcsőkön. Megfordítva: az anyagok ismeretéhez kötött műszaki műveltségben, időben visszafelé haladva, (gondolati szétszedéssel) a mai szerkezetek ősi elemeit találjuk meg. Ha egy villanymozdonyból (Kandó Kálmán találmánya) kivesszük az elektronikát, a 20. század eleji villanymotorral hajtott villamost találjuk, amely a lóvasút mintájára kifejlesztett közlekedési eszköz. A lóvasút megjelenése előtt kocsik (postakocsik) mozognak lóvontatással, a síneket pedig a bányaiiparban használták először csillék mozgatásánál (Hell Károly). Ha a lovas kocsit egyszerűbb elemekre szedjük szét, akkor a tengelyekre szerelt kocsiszekrényt és a kerekeket találjuk alapegységként (Budakalász, MNM). Természetesen ez csak egy vázlat a fejlődésről, és más útvonalakat is bejárhatunk a műszaki építő, anyagokat fölhasználó tevékenységek fejlődési pályáját nyomozva. A szerkezeti hierarchiának van egy tudománytörténeti és fölhasználási szempontokat egyesítő használhatósága is.

Szerkezeti hierarchia és a rétegek időrendje

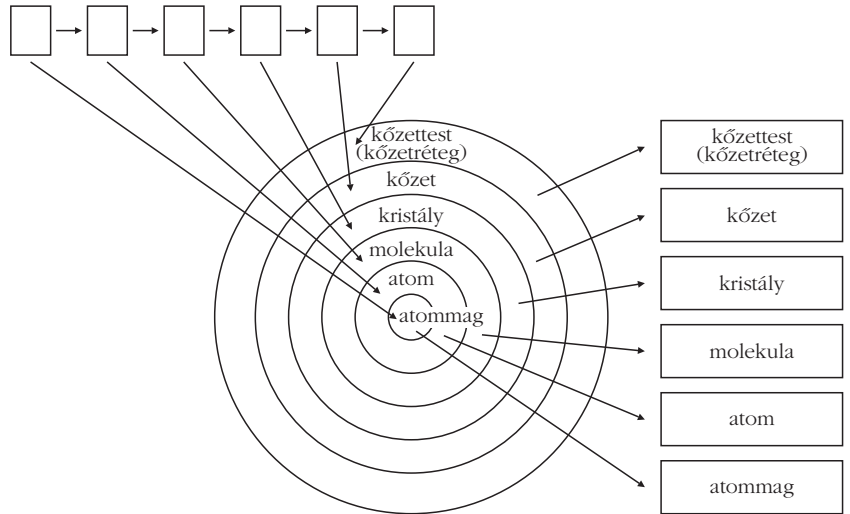
Az anyagszerkezet megismerésének és a megismerés eseménytörténeti rétegződésének van egy ábrába sűrítendő megfogalmazása. Ez a geológiából származik. A geológia a kőzetrétegek tudományaként indult. Steno 350 éve ismerte föl és mondta ki a települési törvényt [4]. Ez kimondja, hogy a fluid (gáz vagy folyadék) közegben ülepedéssel létrejövő kőzettetek felülről lefelé haladva egyre idősebbek, és mindig a legfelül települt réteg a legfiatalabb. A 2. ábrán be-

2. ábra. Steno első törvénye: a települési törvény. Az események leírása és a létrejött rétegtani állapotok leírása egy fölpülő rétegsor esetén. A rétegsor alján a korábbi, idősebb, fölfelé haladva pedig az egyre fiatalabb események rétegei következnek. Ez egy ideális rétegsor.



mutatjuk azt az állapotsort, amit a település, a kőzetestek lerakódása hoz létre. A létrejövő rétegek sorozatát, rétegsorát egy piramis jellegű „építménnyel” jelképezzük, amelyben *legfölül áll a legfiatalabb réteg és alatta rendre egyre idősebb rétegek következnek* [5]. E tudományág virágzására a legjobb példa, hogy a bolygótestek rétegeit ma is ezekkel, a Steno nyomán kifejlesztett módszerekkel végzik [6, 7].

Steno kimondott egy másik törvényt is: az *a kőzetdarab, ami be van ágyazva egy másikba, idősebb a beágyazónál, vagy egykorú vele* [5]. Az egymásba-ágyazódási rétegsor sok mindenben hasonlatos az első Steno-axióma esetéhez, de itt az egymásra következés mérettartományokat foghat át. Ilyen markánsan értelmezett rétegsor tehát az anyag – följebb szétszedéssel bemutatott – belső szerkezete is. Ennek rétegsorát azonban nem csak eseménysorral, hanem a szerkezeti hierarchiával is leképezhetjük. A szerkezeti hierarchia egy tartalmazási sorozat, amelyet „létraként” is és egymásba ágyazott körök sorozatával is ábrázolhatunk (3. ábra).



3. ábra. Steno-zárványok bezárási törvénye, kiterjesztve az anyag belső szerkezetéig, az atommagokig. A „szétszedés”, a belső szerkezet föltárása eseményei az itt ábrázolt eseményekhez képest fordított sorrendben játszódtak le. Előbb ismertük meg a felsőbb hierarchiaszinteket, és idővel az egyre mélyebben fekvő szinteket [3]. A mélyebb szintekhez különféle „szétszedési” módszerekkel jutottunk el.

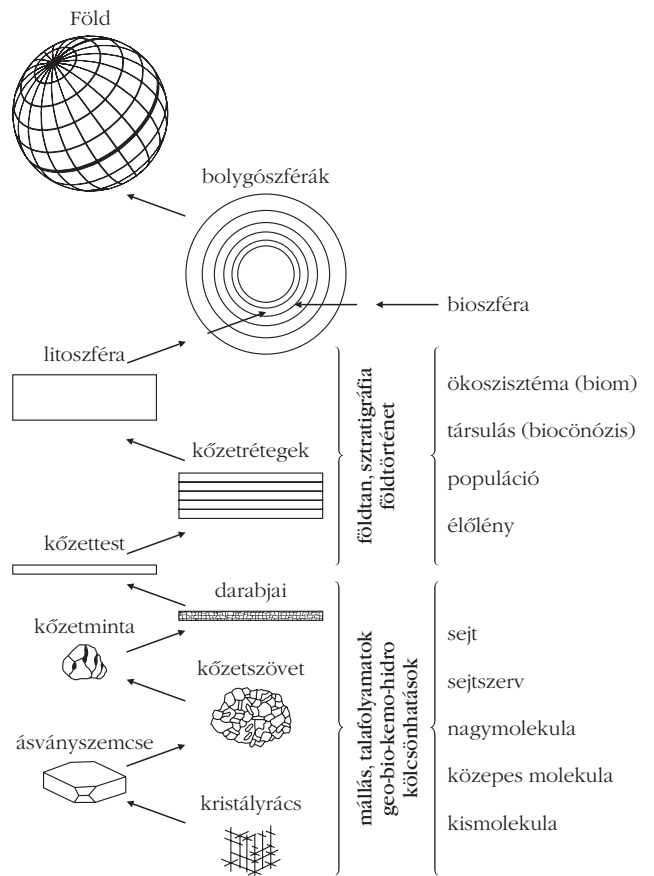
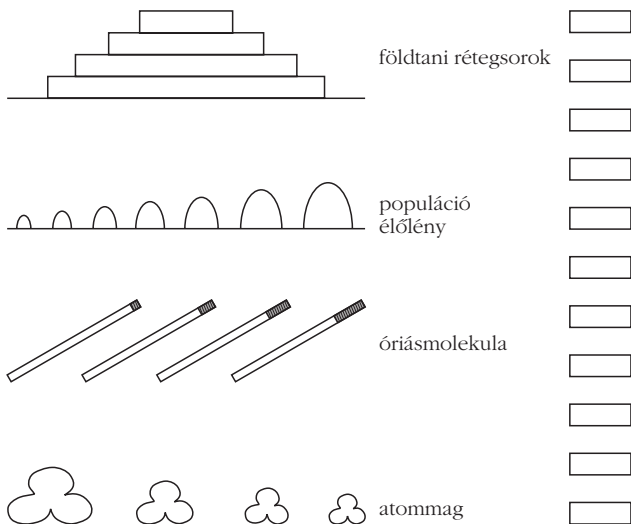
jelenségek szétbontásával fejlődő tudományág, és kiépülése idején – a kőzetekbe zárt ősi kővületek révén – szoros kapcsolatot tartott a biológiával. A biológia a ma élő és megfigyelhető állat- és növény-

5. ábra. Két szerkezeti hierarchia-sorozat (fiziko-, geo- és biosorozat) kapcsolt formában ábrázoló rendszer, ahol a középső sávban azokat a nagy földtudományi egységek vannak kiemelve, ahol a szintek csatolása lényeges szempontokat hoz a vizsgált alrendszer elemzésénél.

Szerkezeti hierarchia-rendszerek kapcsolódása: a geológia és biológia (majd fizika) szövetsége

Eddig egyetlen hierarchia-lépcsősört vizsgáltunk részletesebben, nevezhetjük azt geo- és fizikolépcsősornak is. A geológia természetes útja, hogy az összetett

4. ábra. A szerkezeti hierarchia egymásra rétegződő jelenségeire fölbontott oszlopát (jobb szélén) az egymásba ágyazott órák szintjeinek kiemelésére használjuk föl. Az órák szintjénél megadjuk a fölismérés évszázadát. Legfölül: földtani rétegsorok (Steno nyomán) – 18. század. Az élővilág evolúciója (*Darwin*) – 19. század. Óriásmolekulák genetikai órája – 20 század második fele. Atommagok bomlása – 20. század első fele.



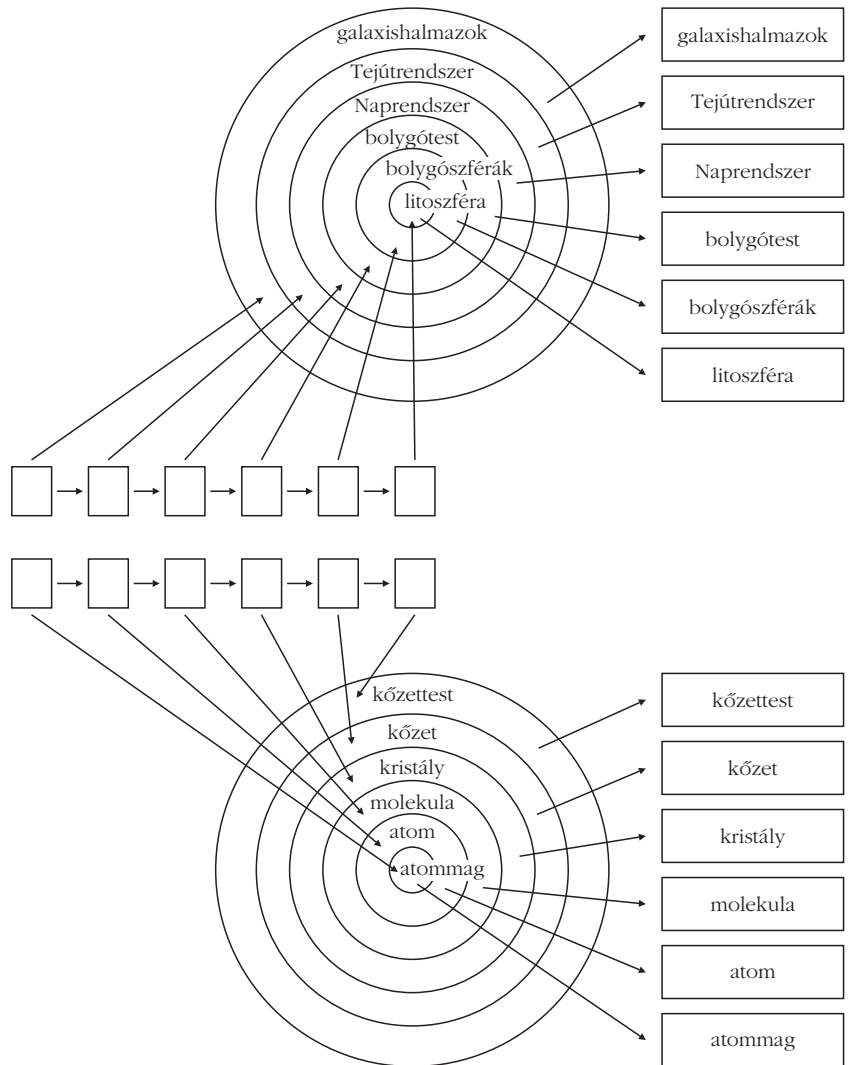
alakokat kapcsolatba hozta az ősi (megkövesedett) vázakkal. A fossziliákban fennmaradt olyan alaksorozatok és alakcsoportok sorozatát – egykori élőlényeket – vizsgált, amelyek a különböző korú kőzetekbe vannak beágyazva. A két tudományág a kutatások során fölismerte egymásrataltságát. A geológia a beágyazott biológiai alakcsoportok alapján tudta a távoli rétegeket azonosítani (a földtani korreláció törvénye). A biológia viszont, a geológiában megalkotott rétegsorok segítségével, az egy időben élt állat- és növényegységekről kapott időbeli metszeteket. Mindkét tudományág közreműködött tehát az *evolúció törvényének fölismerésében* [8]. A leglátványosabb evolúciós törvényszerűség – az élő alakzatok sorozatán – *Haeckel* nevéhez fűződik, aki az embriók időben egymásra következő alakjaiban ismerte fel azt, hogy az egyedfejlődés – nagy lépésekben – megismétli a törzsfjlődést.

Kétféle egymásra képezést is megfigyelhettünk ezen a példán. Egyrészt a geológia mindkét vizsgálati módot, a *térszerkezeti hierarchiát* és az *időbeli egymásra következőséget* is hasznosítja. Másrészt azt is, hogy mindezt – már a geológiai rendszer kiépülése idején – hasznosítani tudta egy másik tudományág, a biológia, pedig akkor lényegében csak egyetlen hierarchiaszintet, a test megmaradó vázát tudta fölismerni a fossziliákon.

Ma már a fossziliák különböző szerkezeti szinteken és többféle tudományágból gyűjthető készletén a legkülönbözőbb tudományágak végeznek időmérést e rendszer segítségével (4. ábra). A rétegsorok nagy léptékű, illetve a talajok kisebb mérettartományba eső vizsgálatainál is szoros a kapcsolat a két szerkezeti hierarchiaszint jelenségei, folyamatai között (5. ábra).

A szerkezeti hierarchia fölhasználása a Világegyetem szerkezetének kiépülését bemutató modelleknél

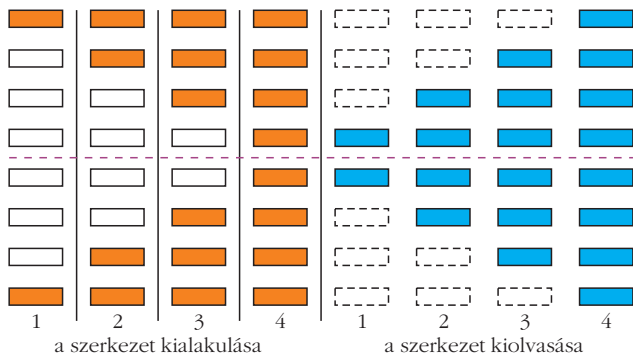
Láttuk, hogy a szerkezeti hierarchia másfajta fölhasználását jelenti az, ha általa a megismerés sorrendjét akarjuk bemutatni. Most ismét egy másik irányt mutatunk be, a „fölszintű világ” szerkezeti hierarchiáját. Ennek az egymásba ágyazottsága éppen fordított globális kiépülési időrendet mutat, amennyiben a szerveződések lépcsősora a külső szintek felől, foko-



6. ábra. Két irányba kiépített szerkezeti hierarchia-ábra sematikus képe. A felső hierarchiaszintek körbevesznek bennünket, az alsókat viszont mi (a testünkben például) tartalmazzuk. Ezzel a kettős rétegsorral a legkisebbtől a legnagyobbig átfoghatjuk az ismert szerkezeteket.

zatosan épült ki. Bár ez sematikus kép, de segítségével – egy szempontból – rámutathatunk az Univerzum néhány jelentősebb korszakára (6. ábra).

Ennek legfontosabb mozzanatait az összefoglaló, 7. ábrán érzékeltetjük. Az Univerzum néhány jelentősebb korai korszakára jellemző, hogy az Univerzum üres, még nincsenek benne a mai világ belső struktúrái [9]. A forró Univerzum az elemi részek világával párhuzamosan fejlődött. Egy későbbi, természetesen folyamatosan ismétlődő, mégis a hierarchiatábla szerint tagolható korszaka volt az, amikor a csillagok belsejében (felső szintek egyike) atommagok épültek ki (alsó, belső szintek egyike). Egy fontos harmadik korszak volt, amikor a csillag körül, a már jelen lévő nehezebb elemekből ásványövezetek alakultak ki: bolygótestek (felső szint) és ásványok (alsó szint) tartománya párhuzamos fejlődési szakaszban jött létre [10]. *Marx György* 80-as évekbéli előadásain említett [11] egy olyan evolúciós folyamatszakszot, amikor az óceánokban (geoszféra, felső szint) sejtfallal körülvett sejti szintű elemek (alsó szint) épültek ki és ezzel lét-



7. ábra. Az anyagfejlődés-történet hierarchikus szerkezete. Az ábra bal oldalán a besatírozott tartományok a párhuzamosan kiépülő felső és alsó szintek együttes evolúciójára utalnak. A szerkezet kiolvasása feliratú rész viszont azt tárja föl, hogy nagy vonalakban párhuzamosan haladt a mikrovilág és a makrovilág szintjeinek kiolvasása és így az Univerzum szerkezetének a megismerése. Elég csak, ha a forró Univerzum korai idején a részecskevilágban fölmert háttérsugárzásra és a galaxisok táguló világára utalunk. De ugyanígy párhuzamosan zajlott a csillagok energetikájának megismerése a napfizikával, és előtte az elektronburok spektroszkópiái jelenségeken keresztüli megismerése a napléggöri és földi gázok ionizációs folyamatainak megismerésével. Kétségtelen, hogy a szerkezeti hierarchia alkalmazása a gondolkodási keretek összképbe rendezését segíti. De a távoli jelenségek együttes látásában – úgy érezzük – nélkülözhetetlen.

rejött a Föld mai atmo-hidro-bioszférikus rendszere. Ebből a négy példából jól látható, hogy az Univerzum és az élet fejlődéstörténete során több alkalommal is csatolt szerveződési szintek együttes evolúciója zajlott [12]. A 7. ábra arra mutat rá, hogy a szerkezeti hierarchia-ábrán mind a nagy evolúciós korszakok néhány csatoltan fejlődő szintje, mind ezek egymásutánisága, mind pedig – a jobb oldali ábrán – a belső és külső világ

megismeréstörténete nagy vonalaiban jól ábrázolható. A szerkezeti hierarchia ábrázolásának ez az együttlátás az egyik legfontosabb szervező képessége.

Összefoglalóan: írásomban bemutattam néhány olyan, a körülöttünk lévő világ megismerésére és leírására alkalmas, interdiszciplináris módszert, amelyet az oktatás során is érdemes alkalmazni.

Irodalom

1. Bérczi Sz.: *Anyagtechnológia I.* Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest (J3-1333), 1985.
2. Bérczi Sz.: *Szimmetria és Struktúraépítés.* Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest (J3-1441), 1990.
3. Bérczi Sz.: Cyclicity in the Evolution of Matter and its Application to the Evolution of the Solar System. *Acta Geologica Acad. Sci. Hung.* 23/1–4 (1980) 163–171.
4. Dudich E.: Rövid Stenográfia. *Földtani Közlemények* 127 (1997) 211–221.
5. Steno, N.: *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus.* (A szilárd testekben természetes módon előforduló más szilárd testekről.) Firenze, 1669.
6. Wilhelms, D. E., McCauley, J. F.: Geologic Map of the Near Side of the Moon. *U. S. Geol. Survey Maps I-703.* (1971) Washington D. C.
7. Wilhelms, D. E.: The Geologic History of the Moon. *U. S. Geological Survey Professional Paper* (1987) 1348. Washington D. C.
8. Darwin, K.: *Harcz a természetben. I. II.* A Magyar Kereskedelmi Közlöny Hírlap és Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 1909.
9. Sagan, C.: *A kozmosz. 1–13.* Filmsorozat és könyv, 1980.
10. Bérczi Sz.: „Kettőskristályosodás” a Naprendszerben. *Fizikai Szemle* 29/11 (1979) 412–419.
11. Marx Gy.: Szubjektív világtörténelem. *Fizikai Szemle* 50/11 (2000) 362.
12. Lukács B., Bérczi Sz., Lábos E., Molnár I. (szerk.): *Mutual Dynamics of Organizational Levels in Evolution.* (Csatolt szerveződési szintek együttes evolúciója.) MTA-KFKI-1992-32/C. Budapest (1992) 137 old.

HÍREK – ESEMÉNYEK

HAIMAN OTTÓ, 1920–2016

2016. november 10-én elhunyt nagyszerű kollégánk, *Haiman Ottó*. Halálakor ő volt az ELTE Fizikai Intézet legrégebb óta dolgozó oktatója, kutatója, aki 95 évesen is bejárt az intézetbe, és aki még ekkor is ötleteket, hasznos tanácsokat tudott adni nekünk, fiatalabbaknak.

Haiman Ottó 1920. december 29-én született Bécsben. Szülei *Haiman Leó* és *Dr. Wéber Stefánia*. Egy testvére volt, egy nála néhány évvel fiatalabb öccse. Anyai felmenői a Bánságból származtak, apai ági rokonai Erdélyben éltek. Édesapja egy fakereskedő társaságnál dolgozott Bukarestben. Ottó fiuk születésekor éppen Bécsben tartózkodtak. A kis Ottó gyermekkorát Bukarestben töltötte. Magántanulónak nem a román, hanem a francia nyelvet sajátította el, amellett, hogy a családban a magyar után a német volt a második nyelv. Ottó 10 éves volt, amikor édesapja egy hivatalos útján (Alexandria kikötőjében) szívvrohamban

meghalt. Ottó ezután először az erdélyi rokonoknál lakott, majd felváltva Budapesten, illetve Bécsben járt elemi iskolába. Középszintű tanulmányait a Budapesti Német Birodalmi Gimnáziumban folytatta. A német és a francia mellé újabb idegen nyelvként itt tanulta meg az angolt és a latint. 1939-ben érettségizett. Sokoldalúságára jellemző, hogy fiatal korában nemcsak zongorázni, hanem orgonálni is tanult.

Egyetemi tanulmányait Szegeden kezdte, az ott frissen beindult vegyész szakon. Az első évek után átkerült Budapestre a Pázmány Péter Tudományegyetemre, kémia-fizika szakos tanárjelöltként. Bizonyítványának dátuma a vegyészeti tanulmányok elvégzéséről 1946. március 12. Egy évvel később kapta meg vegytan-teremtettan szakos tanári diplomáját. Közben, 1945 áprilisától díjtalan gyakornokként kezdett kísérleti munkát végezni a Kísérleti Fizikai Intézet laboratóriu-