

Az üledékképződés ütemessége*

STRAUSZ LASZLO

Az ütemesség jellemző legtöbb életjelenségre s számos fizikai folyamatra is. Kézenfekvő volt tehát, hogy a földtani jelenségekben is az ütemesség jeleit kutatják — több mint 100 éve. Az 1948. évi geológus-kongresszus is tárgysorozatára tűzte a kérdést. A következőkben néhány példát hozok fel saját megfigyelési anyagomból az üledékképződés ütemességére vonatkozóan, valamint hozzászólók néhány ismertebb dolgozatához, mely hasonló anyagot tárgyal.

KISMÉRTEKŰ ÜTEMESSEG.

A MAORT számos mélyfúrásában a miocén-pliocén határról ismerünk nagyon jellemző vékonylemezű homokos-márgákat. Faunát ezekben nem találtunk, de a közeli (muraközi) felszíni kibúvásokban közzétanulag meglehetősen hasonló jellegű, rétegtanilag egyező helyzetű csíkos márgákban szarmata fauna található. A kőzet finomszeméséjű homokot is tartalmazó, kevésbé csillámos márga. A csíkozást világosabb és sötétebb rétegecskék váltakozása okozza; a rétegecskék egymástól nagyon közelre választhatók el, vagyis nem valóban palás, nem hasadó e kőzet. A világosabb lemezek homokosabbak és csillámosabbak, mint a sötétek s sósavval megseppentve kissé jobban pezsegnek, tehát valamivel meszesebbek.

A lemezek vastagsága fölületes szemlélnél elég egyenletesnek látszik, ill. egy-egy világos-sötét lemezpár együttes vastagsága általában 1—2 mm-nek tűnik szemmértékkel s a kétféle anyag közül a világos vékonyabbnak látszik. Azonban már kézinagyítóval alaposabban megtekintve is sokkal szabálytalanabbnak látjuk ezt a felületesen szabályosnak nézett lemezességet; a világos-sötét lemezpár vastagsága elég erősen változik, majdnem ugyanolyan gyakoriak a fél-, ill. 3 mm-es lemezpárok, mint az 1—2 mm-esek; a világos lemez néha majdnem ugyanolyan vastag, mint a sötét, néha azonban csak tizedrész-olyan vastag. Még erősebb nagyítással pedig főleg az lep meg, hogy 1. ugyanazon réteg vastagságában igen nagy változások vannak, 2. némely réteg, melyet egységesen sötétnek vagy világosnak minősítettünk, a maga 1 mm-es vastagságában sem egyenletes, hanem több, néha 8—10 vékonyabb, szintén változóan világos-sötét rétegecskéből áll.

A B-57 számú (budafai) mélyfúrásból 1473—1479 m mélységből származó ilyen anyagban figyeltem meg pl. olyan részletet, ahol a világos lemezek 0,05—0,1 mm, a sötét lemezek 0,1—0,15 mm vastagok. 1479—1485 m közti fúrómagból pedig aránylag szabályos 1—2

* Előadta a Földtani Társulat 1949. október 19-én tartott szakülésén.

mm-es esikozási részek közt van egy ilyen darab: közepűt 0,3 mm vastag sötét lemez, fölötte és alatta 2—2 mm vastag világos sáv, tovább, fel és lefelé is (1—2 cm-en keresztül) sötét átlagszínű rész, melyben 0,2 mm-nél vékonyabbak a lemezpárok.

Hangsúlyoznom kell tehát, hogy ez az aránylag nagyon szabályosnak látszó fínem-ütemesség (mikroritmicitás) is valójában teljesen szabálytalan. Ritmusnak ez nem nevezhető, mert a ritmus jellege az, hogy néhány „ütem“ után mindig megállapítható, hogy mikor minnek kell következnie, — itt pedig egy 0,5 mm-es réteg után jöhet egy hasonló, vagy kétszeres, felényi, vagy tízszeres vastagságú: itt csak annyi bizonyos, hogy a sötét után világos következik.

KÖZEPES MÉRETŰ ÜTEMESÉG.

A MAORT-fúrások anyagában (és valószínűleg a világ legtöbb mélyfúrási anyagában) megfigyelhető közettani jellegek közül a legáltalánosabb az, hogy nagyobb rétegösszleteken át két, egymástól egy bizonyos tulajdonságban (ill. ennek fokozatában) különböző jellegű kőzetnek araszos vagy legtöbbször kevés méteres rétegei sokszorosan ismétlődnek.

A MAORT DNy-dunántúli fúrásaiban főleg a felsőpannóniai emelet sokszáz m vastag, de néha 1000 m-nél is vastagabb rétegsora áll túlnyomó részében ilyen araszos-méteres agyag-homokréteg váltakozásából. A Schlumberg-szelvényekből megállapíthatjuk, hogy a homokosság és agyagoság (ill. az abból következő nagyobb és kisebb porozitás) foka néha 1000 m hosszú szelvényrészben is többé-kevésbé egyenlő maximumok és minimumok közt mozog. A maximumok és minimumok közti átmenet azonban teljesen egyenetlen, állandótlan. Néha a maximumból fokozatos átmenettel, vagy csökkenésekkel száll le az érték a minimumig s onnan vissza lépcsős ugrással emelkedik, máskor épen fordítva, a maximumból még le hirtelen és fokozatosan emelkedik; az átmeneti vagy közepes jellegű kőzetek elhelyezkedése a homok és agyag, vagyis a két szélsőség között egyáltalán nem szabályos.

Csak egyetlen jelleg mutat bizonyos fokú szabályosságot a Schlumberger-szelvények némelyikén: a maximumoknak, tehát itt a leghomokosabb tagoknak közel egyenlő közökben való fellépése. De még egy különösen szabályos szelvényrészben is (mint pl. az N. 1. sz. mélyfúrás Schlumberger-szelvényében, 482-től 580 m mélység közt) kitűnik pontos mérés után ezekről a közökről, ill. távolságokról is, hogy nem különlegesen szabályosak. Legtöbbször (16-nál) a maximális porozitás-értékek távolsága 3—4 m, 6 esetben kevesebb, mint 2 m, 5 esetben pedig több, mint 4,5 m. Pedig hasonló jellegű rétegváltakozások közt ez a legszabályosabb.

Ilyen „közepes méretű ütemesség“-nek nevezhető az a sokszoros rétegváltakozás is, amelyet Szalai T. írt le az ÉK-i Kárpátok óharmadkori illis-típusú üledékeiből (10). Homokkő és palarétegek változnak egymással legalább 38 m-en keresztül; az egyes padok vastagsága 1 cm és 6 m közt mozog. A szelvény középső, aránylag szabályosabb darabjából a rétegvastagságok centiméterekben (p = pala, h = homokkő): h 12, p 20, h 20, p 20, h 120, p 30, h 150, p 5—10, h 140, p 20, h 280, p 10, h 300, p 5, h 20, p 15, h 70, p 20, h 30, p 38, h 60, p 20 cm.

Világos, hogy itt semmi más szabályosság nem figyelhető meg a rétegegymásutánban, mint az a tény, hogy csak kétféle kőzet szerepel a rétegsorban. Csak természetes azonban, hogy ha egyetlen kőzetfajta felépíthet egész vastag rétegsort, akkor kétféle kőzetből még inkább alakulhat az, teljesen szabálytalan elrendeződésben. Szalái sem tekintette ezt az egyébként szép és értékes előfordulást „szedimentációs ritmus“-nak.

Középmagyarországi miocén és pliocén üledékei közt nem emlíkszen egyetlen jó példájára sem az ilyen „középnagy ritmus“-nak. Ha homok és agyag, mészkő és meszes homokkő egy-egy vastagabb rétegsorban ismételtelen is mutatkoztak, szabályosságuk sohasem olyan fokú, hogy valami különös magyarázatot igényelne, vagy különös kövélezetésekre jogosítsa; nem ütemesség tehát, hanem csak „állandótlanság“.

ÜLEDÉKKÉPZŐDÉSI CIKLUSOK.

Az üledékképződés nagy-ritmusait, amelyek egész emeletekre vagy korokra terjednének, üledékképződési vagy szedimentációs ciklusoknak szokás nevezni. H o r u s i t z k y F. használta leginkább e nevet párisi befolyások alapján; azt azonban nem állította, hogy egy kornak mindig ugyanannyi ciklusból kell állnia, vagy hogy egy ciklus mindig egy faunisztikai egységet jelent. Ha vannak is olyan, emeleleknél rövidebb, vagy több-emeletnyi szedimentációs ciklusok, melyek szárazföldi, transzgressziós, nyíltengeri, majd regressziós üledékeknek egymásutánját jelentik s végül teresztrikummal vagy üledékképződésbeli hiánnyal zárulnak; ez csak annyit jelent, hogy egy tengeri üledékképződési sorozat elkezdődik és mindaddig tart, amíg véget nem ér. Ez azonban nem ritmus, hanem a logikai szükség.

A miocén szünetezésével kapcsolatban is felvetődtek a ciklicitás kérdései. (Volt-e kőszén-előtti miocén-ciklus, átmege-e a tengeri felső-oligocén a szintén tengeri legelső-miocénba, lehet-e akvitánikumot és burdigalikumot elkülöníteni az alsómediterránban, egykorúak-e a szomszédos vidékek kőszéntelepei?) Ezek a viták inkább azt bizonyították, hogy a ciklicitás-elmélet nem könnyíti meg a rétegtani beosztásokat, mintsem azt, hogy ilyen ciklusok ténylegesen felismerhetők, definiálhatók és főleg, hogy az esetleges ciklusok egyenrangúsága vagy egymásalárendeltségi viszonya eldönthető.

A tengeri tortonikum fölött következő szarmatikum elszegényedett tengeri faunája a tenger sótartalmának csökkenését bizonyítja. Ahol a mediterrán mészkövekre vagy lithothamniumos konglomerátumokra meszes agyag, finomszemcséjű homokos márga, vagy palás márga következik (mint a Mecsek egyes részein, a Muraközben és a MAORT fúrásainak egyes részében) ott igazán nem lehet a tenger sekélyebbé válásáról szó. A szarmatikum fölött, az üledékképződés megszakítása nélkül tovább is konkordánsan következik a DNY-Dunántúlon a pannónikum. Ez az üledékképződési folytonosság a Muraközben néhol a felszínen is látható s sok helyen nagyon valószínűsíthető mélyfúrásainkban is. Az alsópannón majdnem kivétel nélkül finom agyagos-márgás üledékekkel kezdődik. Nos, ez most a ritmusban negatív vagy pozitív inundaációs jelenség? Itt a sótartalom jelentősen csökkent a szarmatához képest; tehát az üledékképződés tengerből beltóvá lett közeg-

ben történt. Mégis az üledékanyag finomságából s a fúrásokkal alaposan feltárt déldunántúli alsópannon medence ösföldrajzi és szerkezeti viszonyaiból egyaránt arra következtethetünk, hogy itt egy nagy kiterjedésű, mélyvízű medence lehetett. A mediterránvégi és néhol a szarmatikumban is folytatódó sekélyedés után ez most a ciklusnak teljes kiédesedéssel való lezáródása, vagy pedig ellenkezőleg a víz mélyülése miatt újabb ciklus kezdete?

A pannónikum 2000 m-es rétegsorában a Déldunántúlon (nem egyenletesen-fokozatosan, hanem inkább lépcsős-ugrásszerűen) van egy határozott sekélyedési irányzat, alulról fölfelé, mert az édesvízi molluskák száma növekszik s az üledék átlaga kissé durvul. Ugyanilyen változás azonban vízszintes irányban is van az alsópannonban, amennyiben az a Dunántúl közepe felé homokosabb és édesvízibb fáciesű, mint a DNy-dunántúli olajvidéken. Különösen jellemző az alsópannon felső részének jelentős fáciesbeli elérése az említett két vidéken. Míg DNy-on a mélyebb és nyilván sósabb vízben a *Limnocardium abichi*-s rétegek faunája alig tér el az 500—800 m-rel mélyebben fekvő, pannóneleji Valenciennesiás fannától, addig a közép-dunántúli Bakonyhegység közelében e szintben Uniókat és *Helix*-ket találunk a *Limnocardium*ok és *Melanopsis*ok mellett.

A pannóniai tó nem egyszerre tűnt el a Dunántúl különböző részein. Először az ÉNy-i és a középső (a Bakonytól ÉNy-ra fekvő) részeken lett szárazulat, a pannónikum közepe-táján vagy a felsőpannóniai időszak első harmada körül, a *Congeria unguia caprae*-s rétegek után. A Balaton környékén, talán Budapest környékén is, valamint a Mecsekben pannóniai tó a pontikum végéig tartott, míg a Mecsek és a Balaton közt egy sávon valószínűleg, a Dunántúl DNy-i részében pedig bizonyosan még a dácikumot is tavi üledékek képviselik a pannóniai rétegösszlet tetején.

A pannóniai korú beltó folytonos sekélyedése tehát időben is kétségtelenül megvolt, s egyidejűleg megvolt térben is, így a kor-megállapítás és párhuzamosítások tekintetében nem sokat jelent az ütemesség tekintetbevétele.

KÜLFÖLDI CIKLUS ÉS RITMUS-PÉLDÁK.

A földtani irodalomban számos kitűnő cikket olvashatunk az üledékképződés ütemességéről. Szövegek és ideális szelvények alapján meggyőzően ismertetik a ritmicitás tényét és jellegét. De olyan leírt anyagot, vagy olyan ellentmondhatatlan érvelést nem találtam, ami valóban azt a meggyőződést keltezte volna, hogy a földtani jelenségeknek, akár üledékképződési, akár tektonikai, akár élettani tekintetben, ütemessége *törvény*, elv, általános jelleg lenne.

A ciklus fogalmát a régibb szerzők talán még bátrabban fogalmazták meg, mint a későbbiek. Newberry (7) szerint az üledékképződési ciklus egy folytonos sorozat homokkötől agyagba és mészkőbe, azután visszafelé törmelékes kőzetekbe. Ezt az egyszerű és általános szabályosságot Ulrich is kétségbevonja (12) s nem tényleg, hanem csak elvnek hiszi. Van den Broeck (1) munkája 1883-ban lelkesen és érdekesen bizonyította az ütemesség jellegét és fontosságát. A kőzet változása kavicsból homokba, agyagba, majd vissza homokba és kavicsba jelent egy teljes ciklust, mely önálló faunával is rendelkezik: hiányozhat bármely ciklus közepéről az

agyag, vagy a végéről a kavics (sőt a homok és kavics együtt is) s egy teljes tengeri ciklus után lehet ugyanazon emeletben még egy teljes édes- vagy felsősívi ciklus is. — Ez kerekén azt jelenti, hogy egy változó közetsorból álló összletről kizárólag a fauna alapján lehet megmondani, hogy az egy emeletbe tartozik-e, vagy sem.

Rutot (8), Elbert, Ulrich (12) munkái mind azt bizonyítják, hogy szabályos ciklusokra egy-egy példát is bajos találni, nemhogy minden területen bizonyítani lehetne az ütemes üledék-elrendeződést. Klüpfel (4, 5) a ciklicitás fontosságát hirdeti, mégis azt állapítja meg, hogy szomszédos területeken lehetnek azonos jellegű, de lehetnek eltérő ciklusok is, főleg, hogy (pl 108) „gyakran egybeesik egy ciklus vagy részciklus egy ammonit-zónával, néha egy ciklus több zónát, szüntet foglal magában, ritkán egy zónában foglaltatik több ciklus“! Ezzel pedig már teljesen megeafolta azt, hogy az ütemesség korjelző, vagy törvénytörő lenne.

Frebold-nak a lotharingiai liász üledékképződési ciklicitására vonatkozóan csak azt sikerül bizonyítani (2, 3), hogy egymásután különböző kőzetek következnek, bennük néha változik a fauna, szomszédos területek néha egyformán viselkednek. Ez azonban nem ritmus, hanem változékonyság.

Winkler (14) igen érdekes dolgozatban sokszorosán ismétlődő kőzetváltozásoknak több típusát ismerteti. Nem tagadhatom, hogy olyan különös jelenségek, mint a „Bändermergel“-ben a durva és finom anyag rétegesénkénti sokszoros váltakozása, vagy a homokkő-márga-mész váltakozások a jura és kréta-üledékekben, magyarázatot kívánnának. De attól még messze vagyunk, hogy évgyűrűknek, vagy 35 éves Brückner-féle periódusoknak vagy 21,000 éves perihéliumingadozásoknak tulajdonítsuk őket. Legtöbb esetben pedig szívesen hajlanék arra, hogy Wepfer nyomán (13) utólagos diagenetikus jelenségek, ne pedig az üledékképződés tényleges változtatásainak tartsam a meszesebb és kevésbé meszes vékony rétegek váltakozását.

De Geer szalagos agyagrétegeit a mikroritmicitás kitűnő példájának szokás tekinteni. Bajos lesz azonban megtalálni azt az együttthatot, mely megmondja, hogy hány ikerréteg kell egy emelethez. Stamp-nak Burma harmadkori üledékeire vonatkozó cikke is (9) hasonló mikrociklusokt tárgyal. Szerinte minden „kettős-réteg“ egy év üledéke s egy hüvelyknyi vastagság 6—20 ilyen rétegpárt tartalmaz. Szerinte geológiai korok évbeli időtartamát tudhatjuk meg ilyen rétegek számolgatásával. Ezt már Kendall is kétségbevonta (9, p. 528.).

Az üledékképződés ütemességének egyes problémáit Schwiner, Daqué, valamint Twenhofel és Tyler (11) munkái elég kimerítően és tárgyilagosan, de szerintem túl enyhén bírálják.

Az 1948. évi londoni geológus-kongresszus ismertető-füzetében e dolgozatom kivonata megjelent. Ugyanesak megjelent itt számos ritmus-tárgyú bejelentett előadás kivonata, melyek azt mutatják, hogy sokan hisznek az üledékképződés ütemességében. E kivonatokból természetesen bajos megítélni, hogy milyen erős bhzinyítékaik vannak az egyes szerzőknek az ütemesség tényeire vonatkozóan. Ellenben érdekes az, hogy egyesek a ritmicitás okait miben látják. A megszokott, keveset-mondó és nem meggyőző magyarázatok mellett igen érdekes Van der Heide okadatolása: a szenes rétegsor-

ban a rétegek utólagos összenyomódása is előidézi időnként a fenék besüllyedését s ezáltal a ritmikus mélységváltozásokat vagy transzgressziókat; Bersier szerint pedig orogenetikus és izosztatikus hatásokra „himbálódik“ a szárazföld. Ezek talán még leginkább olyan értelmezések, melyeknek alapján a „ciklicitás“ szót jogosultnak tarthatjuk. Itt ugyanis bizonyos fokig okszerű, lényegi a váltakozás, míg az esetek (ill. megokolások) többségében a változás véletlen. Ugyanis egy újabb hegységképző mozgás nem azért következik, mert előzőleg már elmúlt egy; ellenben egy izosztáziára törekvő elmozdulás közvetlen következménye lehet a megelőző hegységképződésnek; vagy pedig az üledékösszlet összenyomódása (tehát a víz mélyülése) azért következik be, mert előtte az üledék felhalmozódott, vastag lett, kiszorította a vizet, vagyis mert előbb sekélyedett a víz. Ezekből is azonban csak a változások ismétlődése, nem pedig az egymás után többször ismétlődő változások hasonló mérete következik.

Az üledékképződés ütemességéről tehát az a véleményem, hogy erőltetve lehet ráolvasni szabályosságot az üledékképződés váltakozásaira s nem könnyíti ez a rétegtani beosztásokat és elhatárolásokat. Bele kell nyugodnunk, hogy a rétegtani egymásután csak tény és nem szükségszerűség: csak megállapítható, de nem „a priori“ kikövetkeztethető.

Rhythm in sedimentation

By: L. STRAUSS

I. MICRORHYTHMS.

Establishing the presence of microrhythms in sediments is a most simple problem. Only two different characters are to be pointed out here (coarse and fine, calcareous and less calcareous, dark and light colored) which may be caused by the variations of one single factor; and if without measuring the thickness and horizontal constancy of the laminae, this rhythmicity seems to be quite regular. Chemical analysis of laminae of 0.1—1 mm thickness is difficult; distinguishing macrofossils of the two kinds of laminae seems to be impossible.

In the wells of the Hungarian-American Oil Ind. Co (MAORT) laminaceous marls, or sandy marls were found in many localities, all at the limit of the Miocene and Pliocene. They are fossilless, but their stratigraphical position and petrographical resemblance to fossiliferous Sarmatian marls in Medjimurje prove them to be of Sarmatian age. The alternating darker and lighter coloured laminae differ from one another as the lighter laminae are more sandy and micaceous, and contain more CaCO_3 . The thickness of the laminae seems to be quite the same, (at first glance), the double laminae are estimated to be 1—2 mm. Through pocket-lens one notes that some laminae are ten times or more thicker, or thinner than others. The microscope reveals that 1. a lamina may vary

laterally very much in thickness, up to 10 times occasionally, 2. some laminae which looked like a single dark one, really are composed of ten or more alternating thin, light laminae and thicker dark ones, i. e. there is a secondary hypomicrorhythm here. In cores from well B. 57 (Budafa-field), between the depth of 1473 and 1479 m the banding is very distinct. The average thickness of the light laminae is 1 mm; the thinner ones are only 0.05—0.1 mm. The average thickness of the dark laminae is 1—1½ mm, the thinnest ones being about 0.1 mm. Between 1479 and 1485 m the lamination is quite similar to the above mentioned ones; but at a spot the thickness of laminae is as follows; a dark lamina of 0.3 mm thickness is in the middle, above and below are light ones, each 2 mm; then up and down are double-laminae of 0.2 mm thickness.

Some authors consider such lamina (and „varvig lera“-s) as laid down in one year (9). But the *regularity* of this lamination is not enough for the interpretation of the lamination being the results of some regular periodical causes — as the circulation of the earth around the sun. We need more oceanographic observations in connection with these phenomena. It would not be earnest enough to regard the number of double laminae as a calendar, and to consider the subordinate finer laminae as sediments of a month, if there is a dozen of them is a chief-lamina, and if there are only 10, to suppose two-month vacation yearly in the sedimentation. The expression „rhythmic“ is too much for such alternations which are laterally and vertically irregular. „Rhythm“ means that we always know when and what follows; here the length of each „beat“ is quite uncertain: after a light lamina of 0.1 mm thickness a dark one of 0.2 or 3.0 mm may follow; this is alternation, but not rhythm.

II. RHYTHMICITY OF MEDIUM SIZE.

In the wells of MAORT (and perhaps in nearly all drillings of the world) it is a common thing that in a greater series of sediments two different kinds of rocks are alternating. In our neogene beds clay and sand are predominating; elsewhere in older formations limestone and shale, or marl and sandstone alternate. Schlumberger-diagrams indicate such alternations well. The oil wells of SW-Transdanubia cross thousand or more meters of alternating beds of sand and clay. The regularity of these alternations is most apparent in the Upper Pannonian; here the clayey or sandy nature of the sediment (i. e. the degree of porosity) changes somewhat regularly; but the transitions between maxima and minima are quite irregular. In one case the decrease of the porosity-value is slow or step by step and the increase from a minimum to the maximum is sudden; in other cases it is quite the contrary.

At first glance the distances between the maxima (the most sandy beds) seem to be equal. Measured though punctually their regularity is not so very surprising. In one of the most „regular“ instances (MAORT well Nádasd 1., depth of 482—580 m), between the 28 maxima of porosity-log, the vertical distances in 16 cases are 3—4 m, in 6 cases less than 2 m and in 5 cases more than 4 m. So „rhythm“ here is nothing more than sand and clay passing into one

another either quickly or slowly, and clay always comes after sand. I doubt whether this deserves the name of „rhythmicity“. If two components are alternating, when one always comes after the other, is not a wonderful geological appearance. This is a simple grammatical rule: „after“ means „other“ compared to „one“. The components „clay, sandy clay, sand“ cannot be called three different members of a series, but only two, clay and sand being not sharply separated from one another. If someone considers them as three different, independent members then the inconstancy of the medium member (sandy clay) may also be opposed to „regularity“.

In Transdanubia I studied many of the Miocene and Pliocene sections and have nowhere found the alternations of two or more different kinds of sediments to be really regular. As to my knowledge nobody did, in all Hungary. T. Szalai gives (10. p. 12) a section from N. E. Carpathians where within thickness of 38 m palaeogene flisch sandstones and shales are alternating, beds being from 1 cm. to 6 m thick. The most regular part of the section is as follows (N=sandstone, L=shale; thickness in cm N 12, L 20, N 20, L 20, N 120, L 30, N 150, L 10, N 140, L 20, N 280, L 10, N 300, L 5, N 20, L 15, N 70, L 20, N 30, L 38, N 60, L 20 cm. Those who are fond of rhythmicity may find it interesting that petrographic facies, i. e. the circumstances of sedimentation are neither the same throughout this section, nor of more than two different kinds; I however, do not call it „rhythmicity“.

III. CYCLOS OF SEDIMENTATION.

Rhythm of major scale, or cycles of sedimentation are often mentioned in Hungarian stratigraphic literature, not concerning Transdanubia, but chiefly the NE part of Hungary. They were chiefly claimed by F. Horusitzky, in the years after 1930. The characteristics of cyclicality were not much studied, but some geologists (F. Horusitzky, Nöszky Sr. Ferenczi, Kretzoi, Szentes) tried to make delimitations between stratigraphic units in such a way that transgressions should coincide with important stratigraphic limits. They never proved that cycles in different regions must be of equal length, that a cycle could not contain more than one étage, or that one étage could not include more than one cycle. But, in this case, cyclicality of sedimentation cannot be of much use for paleontologic stratigraphy, and it does not express more than that sedimentation could not have gone on before it began, and it lasts till it comes to an end. This however is not rhythm, and not geology, but simple logic or grammar.

The separation of the Upper Oligocene and Lower Mediterranean marine sands in the vicinity of Budapest is uncertain. Some authors try to prove the intercalation of a short continental period, others deny it. The limit, however, may be placed lower or higher, as one likes, SW of Budapest, in the middle of the Mediterranean there is a break in the marine series; marine shallow-water deposits follow in the upper Mediterranean. N and NE of Budapest however, in the middle of the Mediterranean there are deep water sediments present. Consequently there is no sufficient evidence of a new cycle of sedi-

mentation beginning with the Miocene; in the middle of the Miocene there is a limit of a cycle in one region, and none in the other. Leytha limestones are at the end of the Mediterranean, followed by Sarmatian limestones. Both are shallow-water deposits, the latter being of brakish facies. Pannonian clays and sands of still less salinity follow Sarmatian without a general break in the sedimentation. If one takes the variations of salinity as criteria for beginning new cycles, one may separate the Pannonian from Miocene without any interruption of sedimentation being really observed.

There was a continental period in the Oligocene and Lower Mediterranean of the Mecsek mountain in SE Transylvania. In the northern part of Mecsek there are deep-sea clays (schlier) in the middle of the Mediterranean; above them marine shallow-water deposits, and then Sarmatian and Pannonian like those at Budapest. In NE Mecsek there are lignite beds in Upper Mediterranean. The middle Mediterranean of S Mecsek is composed of shallow marine facies, the Upper Mediterranean becomes deeper marine step by step, and then Sarmatian clay, Lower Pannonian clay and Upper Pannonian sands follow. So a „cycle“ began higher than the base of the Mediterranean and went on differently on both sides of the Mecsek Mountain; a thorough break in sedimentation is nowhere present.

In the bore-holes of Maort in SW-Transdanubia Middle Mediterranean was reached in schlier-facies; then sandstones and limestones of the Upper Mediterranean follow, above them laminaceous Sarmatian marls, Pannonian clays and sands without any interruption of the sedimentation but salinity continuously decreased upwards. The youngest beds of lacustrine facies (clays and sands with *Congeria* and *Limnocardium*) here correspond to the Dacian of Roumania. Elsewhere in Transdanubia this facies comes to an end in the Pontian s. str. This series differs somewhat in some wells from the general type, so that in Hahót Upper Mediterranean limestones transgress over Mesozoic, in Inke there are tokens of denudation in the Upper Mediterranean and Sarmatian. During the Pannonian age the lake constantly became shallower in SW-Transdanubia. The same change in facies is not only vertical, but horizontal as well; the Lower Pannonian becomes more sandy and near-shore facies, from SW to NE.

All this, in my opinion does not prove any regularity in the variations of facies, and there is not much possibility for the studies of rhythmicity to be really useful in stratigraphy.

IV. DISCUSSION OF SOME PAPERS DEALING WITH RHYTHMICITY.

There are many interesting papers concerning rhythm in sedimentation. Texts and idealised sections try to prove the existence and characteristics of rhythmicity — sometimes its importance and usefulness in stratigraphy as well. I dare not say that I have been able to study all such papers, and that I could contradict everything what they quote about rhythmicity as I have not seen the localities and outcrops they describe. After reading a lot of descriptions of the rhythmicity trough, I am more convinced that rhythmicity is not a

general law of sedimentation, is of not much use for studies of facies, and of hardly any use for stratigraphy. The alternations in sedimentation seem to be dependent on a lot of important nonrhythmic causes, and of very small number of non-important rhythmic causes. The result of these numerous simultaneously acting causes must be irregular, or only very seldom nearly regular. What is called „rhythm“ in sedimentation is not a general law, but a rare exception.

In the following, I shall try to discuss some of the papers dealing with rhythmicity of sedimentation in regions outside of Hungary.

The statements as regards the existence and nature of rhythm, or cyclicity in the XIX-th century were not less daring and positive than those in the second and third decades of our century. Newberry (7) described the cycle of sedimentation as a „transition in character of sediment, typically ranging from sandstone to shale, then to limestone, and ending with a return to fine clastics.“ This simple regularity was questioned by Ulrich (12); he holds it to be not a fact, but an ideal principle only.

Van den Broeck (1) in 1883 emphasized the importance of the rule, that the sequence of gravel sand, clay, sand, gravel correspond to a cycle and generally contains a characteristic fauna of its own. But according to his views clay may be absent in the middle of a cycle, or gravel, or both sand and gravel may also be absent at the end, after a whole marine cycle a whole brackish or freshwater cycle may be included in the same étage. — If so, we cannot speak of a real regularity, nor can we make stratigraphic delimitations based on this supposed cyclicity, but we must turn back to the fauna. Rutot (8) declares that stratigraphic limits in the Franco-Belgian tertiary series are always to be fixed at such places where gravels are intercalated among finer sediments. This „rule“, however seems to be of not much value. Micro- and macrocycles can hardly be distinguished from one another; stratigraphic limits may also exist without the presence of gravels and the general tendency of movements may be interrupted by a „perturbation“ of opposite character, as shown by Rutot's own sketch (8, fig. 10, p. 64.). (See Sness's remarks, „Antlitz“ II, p. 279.)

Elbert in cretaceous sections of Germany observed that multiple repetitions of limestone and greensand are irregular and that the same fauna occurs repeatedly in many horizons.

Ulrich (12) extensively discusses the problem of cyclicity. On page 315 he writes: „The cycles are certainly not coordinate and none fits a major unit of the stratigraphic column accurately. The petrologic sequence, too, is the same in different areas, nor are the correlated beds always even approximately contemporaneous“; and on p. 317: „At their best the function of cycles of deposition in stratigraphic taxonomy is corroborative and not initiative.“ But in contrast to this, in making his stratigraphic scale he exalts tectonic rhythmicity (p. 600): „Rhythmic movements are indicated by the division of each era into four systems, and most of the systems into three coordinated series“. This however does not mean more than that he joins so many cycles together into stratigraphic units that the sym-

metry needed by him would be obtained. Ulrich and Stille's followers too earnestly take the „rule“ that tectonic movements must be relatively quick and contemporaneous, and of big horizontal extension. There are many exceptions to this „rule“ (e. g. where folding is continuous, and its horizontal extension very delimited, or the strip of the folding progressively passes sidewise from one region to another). A stratigraphy based chiefly on such a rule must be unnatural.

De Geer's laminations „varvig leras“ are good examples of rhythmicity on a small scale; but their regularity (the equality of rank of the varves which are 8 times thinner than the others) are not sufficiently proven. The question whether the „varves“ correspond to years, needs much study of the recent sedimentology. Klüpfel describes the cyclicity of the Jurassic beds of Germany. According to him (4, 5) the sequence of sediments in a cycle is clay, marl, limestone, ending with litoral sedimentation or denudation. During a cycle the fauna should be dependent on the facies, and in the next cycle a new fauna should follow. In his sketches, however, we must observe that the above mentioned sequences of sediments are very often deficient, and sand may occur in them at different heights. Klüpfel himself declared that parallel or not parallel cycles may exist in neighbouring territories.

And chiefly that (p. 108) „a cycle or subcycle coincides very often with a zone of Ammonites, sometimes a cycle comprises more zones, but a zone of Ammonites rarely comprises more cycles“! By this he himself contradicts all he had said about the laws of faunistic and sedimentary cyclicity. The same author in another paper (6.) gives the sequence of sediments in a zone as follows: sand („a“) — sandstone with pirite, calcareous sandstone or detritus of fossils („b“) — oolite or ironoolite (c.“) — limestone („d“). Their „regular“ repetition in a section during 6 cycles is as follows (6, p. 182—183), the types of sediments being shown by the letters above in parentheses and the limits of the cycles by:

b | a b c d | a c | a c d | a c | b c.

So in a representative section there is only one full cycle, and five different types of cycles among six cycles! His idealized sections showing the horizontal distribution of facies, and giving reasons for the incompleteness of the cycles in some places, are sufficient to prove that transgressions were always slow and regressions quick, and therefore each cycle must begin with the coarse sediments and be finished with the fine ones. But one easily can draw another idealized section wherein transgressions could be sudden and regression slow.

Klüpfel on the other hand very correctly opposed Pompeckj's primitive and unfounded theory that the alternating beds of marl and limestone should be identified with the 35-years climatic cycles of Brückner.

Arbenz emphasizes that stratigraphy must be made in the epicontinental sedimentary series (not in geosynclines) where cyclic sedimentation is normal. If cycle is defined as two, three, or four

kinds of stones (or facies) coming one after the other, not in a strict order, where some of these members may perhaps be absent, then cyclicity is really very characteristic for epicontinental sedimentations. — But however, if the term „cycle“ should mean something regular, or symmetric or constant, then I must question its existence.

Stille does not give real details and proofs of tectonic and sedimentary rhythm. In his sketch the curve showing the alternations of movements and facies in the Franco-Belgian Paleogene, and in the Middle-European Trias, is irregular to such an extent that the term „rhythm“ would be absurd to use for it.

Frebald studies the cyclicity of Jurassic sedimentation (2, 3). He stated that in the Lias of Lorraine there is a rhythmic alternation of clayey and calcareous sediments, and that there is a strict connection between fauna and petrographic facies. In his idealized sketches this really is the case. But when we come to real local data, then we find that in one of his best sections there are not more than 2 faunas in 8 cycles; that during a general transgression there may be regression as well in a special smaller basin; that entirely different sediments may occur in the same place (e. g. in the place of limestone there may be marl, conglomerates, or something else). The relation of cycles and étages is not very clear (see 3, p. 540): In the Lias beta of Lorraine there are 2 cycles, the lower one is complete and the upper one is represented only by a bed of limestone, small rhythms appear weakly. The Lias gamma comprises two incomplete cycles; it is complicated by small rhythmus. Lias delta is a full cycle containing two incomplete cycles of medium-size and many microcycles. — All this means that different sediments follow each other in an inconstant order and the changes in sediment and fauna are not parallel. This however, cannot be called „rhythm.“

The rhythms of major size described by Winkler (14) are not more regular and not more useful for stratigraphy than those discussed previously. But his rhythms of small scale: alternations of fine and coarse clastics in the „Bändermergel“, or regular alternations of sandstones and marls in Jurassic and Cretaceous series really are interesting. Whether such alternating beds are „annual rings“, or 35-year periods of Brückner or 21,000-years perihelic changes, would be difficult to answer. We should never forget that there are very simple explanations also for manyfold alternations of thin calcareous and clayey beds. According to Wepfer (13) these may be caused by the diagenesis after the deposition of a single and constant, unchanging sediment.

Stamps interesting work concerning cycles of sedimentation in the Eocene strata of the Anglo-Franco-Belgian Basin deserves to be dealt with in detail, but I hope this will be done by someone more acquainted with the region than I am. From his descriptions it seems to be clear that in spite of horizontal inconstancy of the facies the strata may be grouped into cycles. I am not quite convinced whether this would be more than making stratigraphy in the old manner by means of faunas and drawing the paleogeography by means of studies of facies. Though there may be some places, where changes of facies are to some degree „regular“, we can still make not much use of it either for the establishment of a perfect

stratigraphy, or for proving the presence of rhythmic causes of the changes.

Stamp in another paper (9.) discusses the nature of rhythmic banding on a small scale in the tertiary sediments of Burma. Each double lamina should represent the sediment laid down in one year, 6—20 years per inch. The counting of laminae might make it possible to determine the duration of geological periods (p. 528); but one might ask whether sedimentation must only be determined by a single pair of factors instead of by many of them which may vary more often than twice a year (see remarks of Prof. Kendall too, in the discussion mentioned (p. 528).

In closing the recapitulation of literary data, we must mention two fine summarizations of the problems of rhythm and cyclicity of sedimentation, one by Dacqué of the year 1915, and the other by Twenhofel & Tyler (11) of 1941. These books quote methods and many of the examples described by other authors, criticizing them very correctly, but in too mild a manner.

V. CONCLUSIONS.

Resuming all that was proved by different papers and my own investigations I should define the „rule“ of rhythm in sedimentation as follows:

Sedimentation is either constant or inconstant. When it is inconstant, then changes are either vertically absolutely irregular, or showing a very small degree of regularity; horizontal changes in facies seldom allow the simple identification of petrographic series in different areas. A change from shallow-water sediments to deepsea deposits and back to litoral ones is not rare, and it may be called a cycle. Such cycles may coincide with stratigraphic units, or may be bigger or smaller. The subordination of different sized cycles by its own characteristics without faunas) is impossible.

Symmetry in some sketches which would show the characters of alternations in the sedimentation is often surprising. But this regularity of the lines representing geological phenomena was obtained in such a manner that immeasurable things were measured, and „tendencies“ were displayed as if they were quantities. Manyfold alternations of different sediments, beds, or thin laminae are generally irregular; little regularity occurs there where differentiation of a single kind of sediment into two alternating kinds of strata is probably the consequence of diagenesis.

I myself favor the word „cycle“ of sedimentation more than the term „rhythm“. I prefer such a circle, all points of which are at different distances from a centre, — compared to such a „rhythm“ where the length of each beat is different.

So rhythmicity of sedimentation does not seem to be a really existing and useful „rule“. We should do better not to base any important geological statements on it.

IRODALOM. — BIBLIOGRAPHY.

1. *Van den Broeck*: Note sur un nouveau mode de classification et de notation graphique des dépôt géologiques basé sur l'étude des phénomènes de la sédimentation marine. Bull. Mus. Roy. d'Hist. Natur. de Belgique II. 1883.
2. *Frebald H.*: Über cyklische Meeressedimentation. Leipzig, 1925.
3. *Frebald H.*: Die stratigraphische Stellung des Lothringer Lias. Neues Jahrb. Beil. Bd. 53. Abt. B., 1926.
4. *Klüpfel W.*: Zur Kenntnis des Lothringer Bathonien. Geol. Rundschau. VII. 1916.
5. *Klüpfel W.*: Über die Sedimente der Flaschee im Lothringer Jura. Geol. Rundsch. VII. 1916.
6. *Klüpfel W.*: Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Palaeogeographie in der Weser-Erzformation des Ober-Oxford. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellsch. 78. 1926.
7. *Newberry J. S.*: Cycles of deposition in American sedimentary rocks. Proc. Am. Assoc. Adv. Sci. vol. 22. II. 1874.
8. *Rutot A.*: Les phénomènes de la sédimentation marine étudiés dans leur rapport avec la stratigraphie régionale. Bull. Mus. Roy. Hist. Nat. de Belgique. 1883.
9. *Stamp Z. D.*: Seasonal Rhythm in the Tertiary Sediments of Burma. Geol. Magaz. 62, 1925.
10. *Szalai T.*: Az északkeleti Kárpátok geológiája. Geology of the Northeastern Carpathians. Földt. Int. Évk. Ann. Inst. Geol. Hungar. Vol. 37. 1947.
11. *Twenhofel—Tyler*: Methods of Study of Sediments. London, 1941.
12. *Ulrich E. O.*: Revision of the Paleozoic Systems. Bull. Geol. Soc. Amer. vol. 22, 1911.
13. *Wepfer*: Die Ausaugungs-Diagenese, ihre Wirkung auf Gestein und Fossilinhalt. Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 54. Abt. B. 1926.
14. *Winkler A.*: Zum Schichtungsproblem. Neues Jb. Beil. Bd. 53. Abt. B. 1926.