

Minél egyszerűbb kísérlettel s minél biztosabban igazolhatunk egy természeti jelenséget, annál közelebb jutunk a helyes magyarázathoz. A *Simplegádok* periódikus mozgása is megérthető a sziklatömbök labilis, vagy legalább is neutrális egyensúlyi elhelyezkedésével és az apály-dagály által okozott tengeráramlatok hatásával. Hogy azután ez az időszakos mozgás éppen a Jason csónakja után szűnt meg, vagyis a sziklatömbök oly stabil egyensúlyi helyzetbe kerültek, amelyből a tengeráramok kimotoztatni azokat többé képesek nem voltak, ez lehet a véletlen játéka, de a fantázia szüleménye is.

AZ ÉLESKAVICSOK KELETKEZÉSÉNEK MECHANODINAMIKAI TÖRVÉNYEI

Írta: BENDA LÁSZLÓ dr.*

— A 11—21. ábrával. —

A hazai éleskavicsok (Dreikanterek) felismerése a múlt század második feléhez fűződik.¹ 1926 nyarán vitéz LENGYEL E. megfigyeli a tengerparti éleskavicsok fejlődésének, kiformalódásának mikéntjét.²

Régóta ismeretes már, hogy a sivatagi éleskavicsokat a szélről űzött homok, viszont a tengerparti éleskavicsokat a tengervíz által mozgatott homok csiszoló munkája hozza létre.

Az éleskavicsok eredetük szerint lehetnek: szárazföldiek, (sivatagiak) és tengerpartiak. Koruk szerint, mindkét esetben recenssek, illetve fosszilisak lehetnek.

I. Szárazföldi (sivatagi) éleskavicsok.

1. A szélfúttá homok mozgásának jellege.

A csiszolás munkáját a pillanatnyi súlyponti tengelyük körül forgó és a kavicsfelületen végiggördülő homokszemek végzik el.

Amint az egyes levegőrészecskék elhaladnak a homokszem mellett, az pillanatnyilag súlyponti tengelye körüli forgásba jön. A levegőrészecskék ugyanis meghatározott sebességgel mozognak és magukkal ragadják a homokszemeket is, amelyek a mögöttük levő levegőrészecs-

* A szerzőnek a Mhoni Földt. Társulat 1930 április 2 i. szakülésén tartott előadásának kivonata.

E dolgozatomat JANICSEK JÓZSEF DR. műegyetemi magántanár úr volt szíves részleteiben átnézni. Lekötelező szívességéért ehelyütt is köszönetet mondok. *B. L. dr.*

¹ PAPP KÁROLY: Éleskavicsok Magyarország hajdani pusztáin. (Földt. Közl. XXIX. 1899. p. 135.)

² v. LENGYEL ENDRE: Tengerparti éleskavicsok. (Földr. Közl. LVI. 1928. p. 93.)

kék taszítására jutnak előbbre. Amikor egy-egy levegőrészecske az előtte haladó homokszemet éri, arra ütést mér. Lamináris mozgást tételezve fel, az ütés centrikus, tehát a homokszem v_c mozgási sebessége v_l -re növekszik. A sebesség pillanatnyi v_l értéke a következő pillanatban $v_c = v_l - \Delta v$ értékre csökken, hogy egy újabb lökés ismét v_l sebességet kölcsönözze neki. v_l gyakorlatilag azonosnak tekinthető a levegőáramlás sebességével.

A homokszemek azonban nem mozognak laminárisan még akkor sem a levegőben, ha a feltételezett egyenesvonalú pályán haladnak, mert sebességük pillanatról-pillanatra változó: $v_l, v_c, v_l, v_c \dots$, amelyet emberi érzékeinkkel

$$v_a = \frac{(v_l - \Delta v) + v_l}{2} = \frac{1}{2} (2v_l - \Delta v) = v_l - \frac{1}{2} \Delta v$$

sebesség formájában észlelünk.³

A szorosan egymás nyomában haladó levegőrészecskék amint érintik a homokszemet, arra ütést mérnek, majd oldalt kitérnek és így siklanak tova. A homokszem nem gömbalakú, hanem a közel gömbös magon számos kidudorodás teszi felületét egyenetlenné. (Igaz ugyan, hogy a futóhomókat gömbölyűre kopott volta jellemzi, de az is természetes, hogy éppen a szóban forgó folyamat koptatja azokat többé-kevésbé gömbölyded formákká.) Ezekbe a dudorokba kapaszkodnak a levegőrészecskék s így hozzák a homokszemet pillanatnyi súlypontja körüli forgásba. A lehetséges pillanatnyi súlypontok összeségét belső mag-nak szokás nevezni. Fentebbi megállapításunkat eszerint úgy fogalmazhatjuk, hogy a levegőben tovaszálló homokszem még abban az esetben is belső magja körüli forgásba jönne, ha szigorúan egyenes vonalú pályán egyenletes sebességgel mozogna. Belső magjának haladási sebessége átlagban: $v_a = v_l - D_v$, azaz valamivel kisebb sebességgel mozog, mint a légáramlat.

Felületének minden pontja azonban ennél jóval nagyobb sebességgel mozog, tekintve, hogy a test haladása közben tengelye (belső magja) körüli forgást is végez. A következőkben vizsgáljuk meg, mekkora az a szögsebesség, amely a homokszemek útjára jellemző.

A levegőben lebegő homokszem sohasem olyan alakú, hogy súly-

³ Láthatjuk, hogy a légáramlat sebessége (v_l) és a homokszem átlagos haladási sebessége (v_a) között kis különbség ($\frac{1}{2} \Delta v$) mutatkozik, amelyet a továbbiakban D_v -vel fogok jelölni:

$$\Delta v = v_l - v_c = 2D_v \text{ és } \frac{1}{2} \Delta v = v_l - v_a = D_v.$$

pontja egyúttal tömegközéppontja is volna, hanem szabálytalan alakjával olyan helyzetet foglal el a térben, hogy súlypontja (S) tömegközéppontja (K) alá esik. (11. ábra.)

Legyen i az uralkodó légáramlat iránya. (Könnyebbség kedvéért egész gondolatmenetünket egyetlen vertikális keresztmetszetben építetjük fel.) Az i iránnyal párhuzamosan két részre oszthatjuk a homokszemet az S súlyponton át, minthogy ez az egyetlen pont, amelyben a homokszemet érő, ΔP erőt képviselő légáramlat tiszta taszítást idéz elő.

Az $x-x$ vonal feletti rész súlypontja legyen S_2 , az alsó részé pedig S_1 . Ezeknek S -től való távolsága a_2 , illetőleg a_1 . A keresztmetszet $x-x$ vonalon felüli részére eső nyomóerő eredője legyen P_2 , az alsó részen ugyanez P_1 . Ezen jelölésekkel felírhatjuk, hogy a homokszem felső részére ható forgató nyomaték: $F_2 = P_2 a_2$ és az alsó részt illetőleg pedig: $F_1 = -P_1 a_1$.

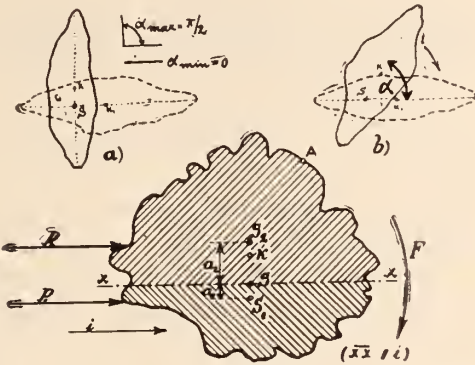
Mivel $P_2 > P_1$ és $a_2 > a_1$, következik, hogy $F_2 > F_1$, tehát (ha a légáramlatot balkéz felől kapjuk) a homokszem feltétlenül az óramutató járásával egyező értelmű forgásba jön, amelyre az $F = F_2 + F_1 = P_2 a_2 - P_1 a_1$ forgatónyomaték jellemző.

A homokszem tehát előrehaladása közben folytonos forgásban van, így mintegy csiszolókorongként koptatja a kőzeteket. Hogy kifejezhessük a végzett munkát, először az út egyenletét kell megállapítanunk. A következőkben jellemezzük azt az utat, amelyet a homokszem egyetlen felületi pontja (11. ábrán A) fut be. A forgás közben végtelen kicsiny időtartam alatt (dt) vizsgálva a jelenséget, körmozgással van dolgunk. A légáramlás sebessége:

$$v_l = \frac{ds}{dt} \sim \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Δt véges kicsiny időtartam. Válasszuk meg úgy, hogy a Δt idő alatt megtett út, Δs , véges, de nagyon kicsiny hosszúság, legyen azonos r -rel, a homokszem félátmérőjével, azaz: $\Delta s(=)r$. Ebből

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r}{\Delta t}, \text{ amiből } \Delta t = \frac{r}{v_l}$$



11. ábra.

Az ω szögsebességet úgy jellemezhetjük ha, megadjuk, hogy egy pont a test területén mozogva, bizonyos idő alatt mekkora ívet ír le, illetőleg mekkora középponti szöget zár be az indulási pont sugarával.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} (=) \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Elegendő pontossággal dolgozunk, ha az utóbbi képletből indulunk is ki.

Feltételeztük, hogy Δt idő alatt Δs utat fut be a pont. A Δs -et azonosítottuk r -rel. Kérdés most már, mekkora az az α szög, amennyivel az elemi levegőáram a homokszemet Δt idő alatt, belső magja körül elforgatni képes.

A levegőben a homokszemek úgy helyezkednek el, hogy leghosszabb tengelyükkel a haladás (szélfúvás) irány síkjába fekve, a horizontális síkkal bizonyos α szöget zárnak be. [11. ábra, b)]. Az α szög nagysága változik a levegőáram pillanatnyi sebessége, a homokszem tömege, alakja és fajsúlya szerint.

Mérsékelt sebességű levegőáramlás esetén a homokszemek és lemezek beledőlnek a levegőáram irány síkjába és hosszabbik tengelyükkel ezen irányban elnyúlva úsznak a szél szárnyán.

Egyik határeset az, ha a testecske hosszabbik tengelye korábbi függőleges helyzetéből vízszintes helyzetbe kerül [11. ábra, a)]. Ekkor $\alpha = \pi/2$. Ha pedig a szél sebessége akkora, hogy a homokszemek a szél irány síkjában fekszenek és abból nem térnek ki, akkor $\alpha = 0$.

A tényleges α érték valahol 0 és $\pi/2$ között van, de egyelőre még ismeretlen. Hosszú észleléssorozatra volna itt szükség. A tárgyalás további menetét azonban α ismeretlen volta nem zavarja, a számszerű példák esetében pedig a levezetett természeti törvényt úgy érzékeltettem, hogy α szélső értékei között felvett középértékkel dolgoztam (α közép $= \pi/4$).

Tehát

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\alpha}{\Delta t},$$

vagy Δt -t behelyettesítve

$$\omega = \frac{\alpha}{r} v_l = \frac{v_l}{a}, \quad \text{ha } a = \frac{r}{\alpha}.$$

Állítsuk szembe a légáramlat és a homokszem mozgásának jellegét egymással. $s = v_l t$, ahol s az elemi légrézecske által megtett út hossza. $s_1 = \omega t$, ahol s_1 a homokszem egy felületi A pontja által befutott út hossza. A két út viszonya:

$$\frac{s_1}{s} = \frac{\omega}{v_l} = \frac{\alpha}{r} = \boxed{\frac{1}{a} = \frac{s_1}{s}} \dots\dots\dots 1.$$

Az 1. képletben kifejezett törvény első fontos eredményünk: A homokszemek minden egyes felületi pontja a levegőben haladtában $\frac{1}{a}$ -szor nagyobb utat tesz meg, mint az elemi levegőrészecske. Azaz

$$s_1 = \frac{s}{a} = a \frac{s}{r} \dots\dots\dots 2.$$

*

A számszerűség kedvéért helyettesítsük be a 2. képletet, és pedíg úgy, hogy $a = \pi/4$ és 1. a homokszem átmérőjét a sivatagi homok átlagértékére, 0.1 mm-nek vegyük fel. Kérdés, mekkora utat fut be az A pont az alatt, míg az elemi légrézecske 1.0 m utat tesz meg. $2r = 0.0001$ m.

$$s_1 = \frac{\pi}{4r} s = \frac{3.14}{0.0002} \cdot 1.0 = 15.700 \text{ m,}$$

azaz a 0.1 mm átmérőjű homokszem felületén lévő pontok 15.700-szor akkora utat tesznek meg, mint az azokat tovaragadó légáram.

2. Legyen $2r = 0.00005$ m, akkor

$$s_1 = \frac{3.14}{0.0001} \cdot 1.0 = 31.415 \text{ m.}$$

3. Ha pedig $2r = 0.0002$ m, akkor

$$s_1 = \frac{3.14}{0.0004} \cdot 1.0 = 7.850 \text{ m,}$$

azaz minél kisebbek a homokszemek, felületi pontjaik annál nagyobb szögsebességgel mozognak.

*

2. A homokszemek eleven ereje.

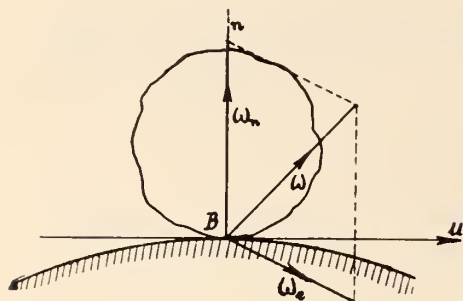
Midőn a homokszem a kavics felületéhez ér, azon végiggördül. A csiszoló munkát gördülése közben fejt ki. Vizsgálatunk tárgya a rendelkezésre álló eleven erő.

A gördülő homokszem pillanatnyi mozgásának jellemzésére válaszszuk alapul a két test B érintkezési pontját. (12. ábra.) Minthogy a homokszem jelenleg annak a kényszernek van alávetve, hogy mozgása közben állandóan érintkezzék felületének egy B pontjában a változatlan alakú és helyzetű, érdes felülettel (a kavics felületével), ezen kényszerfeltétel miatt a B pont $v_a = u$ sebessége beleesik a felület érintő-síkjába. Az ω szögsebességű elemi forgás tengelye általában valamely szöget zár be a felület B ponti normálisával.

Bontsuk fel az ω szögsebességet a normálisba eső ω_n és az érintősíkba eső ω_e derékszögű alkotókra. Általában az u csúszási sebesség, az ω_n és ω_e szögsebességek különböznek zérustól. Ebben az esetben a homokszemek egyszerre végeznek csúszó-, gördülő és pördülő mozgást, mivel u is, ω_n is, és ω_e valós, pozitív értékek.

A homokszem mozgásával szemben a kavicsfelületen reakcióerők jelentkeznek és pedig az n normálisba eső N normális ellenállás, az érintősíkba eső F csúszó surlódás, az ω_e -re merőleges síkba eső G gördülő surlódási erőpár és az ω_n -re merőleges síkba eső P pördülő (fúró) surlódási erőpár. P olyan rendkívül kicsiny, hogy nyugodtan elhanyagolhatjuk.

N normális ellenállás értelme szerint mindig a kavicsból a homokszem felé mutat. Nagysága a ható aktív erők függvénye.



12. ábra.

F csúszó surlódás, ha: 1. a B pontnak zérustól különböző sebessége van, akkor F megegyező irányú, de ellenkező értelmű az u sebességgel. Nagyságát a dinamikai Coulomb-féle törvény határozza meg. $F = fN$, ahol f a surlódási tényező.

2. Ha azonban $u = 0$, azaz nincsen csúszás, akkor a B pont pillanatnyilag nyugalomban van és a statikai Coulomb-féle törvény lép életbe, amely szerint $F \leq fN$; a csúszó surlódás iránya és értelme is általában ismeretlen.

G gördülő surlódási erőpárt ugyancsak aszerint határozzuk meg, van-e gördülés, vagy nincs ($\omega_e = 0$). Az első esetben $G = \lambda N$, a másodikban $G \leq \lambda N$, ahol λ a gördülési együttható. G is legtöbbször oly kicsiny, hogy elhanyagoljuk.

Ezek után vizsgáljuk azt az ideális esetet, mikor a gömbalakúnak vett homokszem a vízszintes, érdes kavicsfelületen úgy mozog, hogy az alappal párhuzamos és a súlypontjába eső v_a sebességű haladó mozgása és a súlyponton átmenő, a haladás irányába eső, függőleges keresztmetszetre merőleges tengely körüli ω szögsebességű mozgása van. Mivel $v_a \perp \omega$, a test síkmozgást végez (13. ábra). A B pont pillanatnyi sebessége: $v_B = u = v_a - r\omega$; behelyettesítve

$$v_B = v_a - \left[\frac{\alpha}{r} \cdot r (v_a + Dv) \right]$$

S minthogy αD_v másodrendűen kicsiny mennyiség elhanyagolható s így

$$v_B = u = v_a (1 - \alpha),$$

ami azt jelenti, hogy a homokszem egyidejűleg u sebességgel csúszik és ω szögsebességgel gördül a kavics felületén. Mivel pedig $v_a = v_l - D_v$ és $r\omega = \alpha v_a + \alpha D_v (\cong) 0.8v_a$, tehát $v_a > r\omega$, amiből következik, hogy $u > 0$ és a B -pont u sebessége megegyező értelmű az S súlypont v_a sebességével. A súlypont előre halad, a B -pont előre csúszik és az F csúszó-súrlódás hátrafelé mutat.

Ezek után határozzuk meg az érdes kavicsfelületen mozgó, körkeresztmetszetűnek vett ideális homokszem eleven erejét. Ha a homokszem tömege m , a súlyponti forgástengelyre vonatkozó nyomatéka:

$$J = \frac{\pi r^4}{2},$$

akkor a v_a -sebességű

tiszta haladó mozgásra vonat-

kozólag $E_h = \frac{mv_a^2}{2}$, míg az ω

szögsebességű tiszta forgómoz-

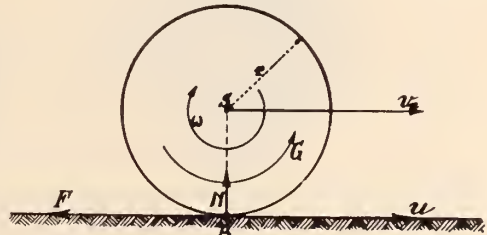
gás esetén $E_f = \frac{J\omega^2}{2}$ lenne az

eleven erő. Az egyidejű haladás

és forgás alkalmával pedig,

miel a mozgás leírásának alappontja a súlypont, $E = E_h + E_f$.

Behelyettesítve E képletébe az eddigi eredményeket, azt kapjuk, hogy



13. ábra.

$$E = \frac{mv_l}{2} (v_l - \Delta v) + \frac{J}{2} v_l^2 \left(\frac{\alpha}{r}\right)^2,$$

vagy egyszerűsítve⁴

$$\boxed{E = \frac{v_l}{2} \left[m (v_l - \Delta v) + J v_l \left(\frac{\alpha}{r}\right)^2 \right]} \dots\dots\dots 3.$$

A 3. képletből kitűnik, hogy a gördülő homokszemek eleven ereje sokkal nagyobb, mintha azok csupán haladó mozgást végeznének.

⁴ Megjegyzés. r_a^2 átalakításánál az utolsó tagot ($\frac{1}{4} \Delta v^2$), másodrendű kicsiny lévén, elhanyagoltuk. — Amint a homokszem a kavics ferde lapján felgördül, elméletileg v_l sebessége lecsökkenik. Ez a sebességkülönbség olyan kicsiny, hogy a 3. képletben nem vettük számításba.

3. A homokszemek munkája.

A homokszemek munkamennyiségét (L) két összetevőből fejezhetjük ki. L ugyanis annak a két munkamennyiségnek az összegével egyenlő, amelyet akkor végezne a test, ha csakis csúszással haladna előre a kavics felületén (L_h), illetve ha csakis forgómozgást végezne (L_f). Tehát:

$$L = L_h + L_f = p f v t + (p f_2 a_2 - p f_1 a_1) \frac{\alpha}{r} v t,$$

összevonva

$$\boxed{L = p v t \left[f + (f_a a_a) \frac{\alpha}{r} \right]} \dots\dots\dots 4.$$

ha az $(f_2 a_2 - f_1 a_1) = (f_a a_a)$ jelölést vezetjük be.

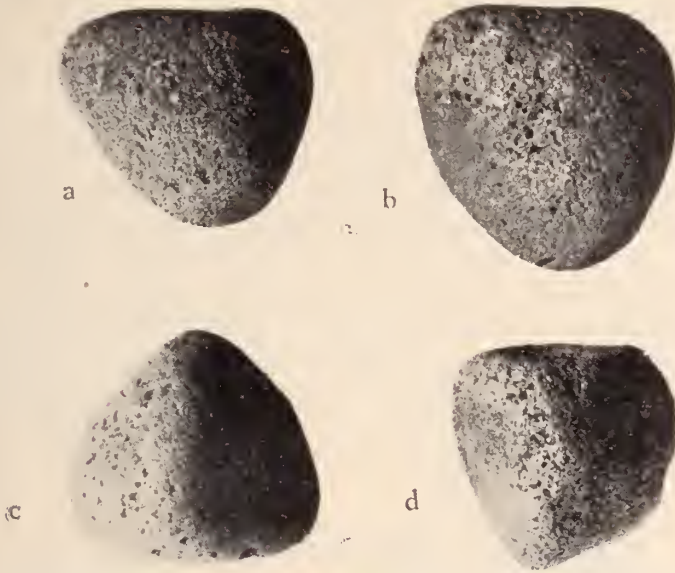
Az eddigiekben eredményül kapott 1—4. képletekből azt olvashatjuk ki, hogy a homokszemek annál hatékonyabb munkát végeznek, 1. minél nagyobb a levegőáramlás sebessége; 2. minél nagyobb a homokszemek fajsúlya; 3. minél több a kavicsok anyaga; 4. minél kisebb a homokszemek átmérője; 5. de viszonylagosan minél nagyobb azok felülete.

Mivel a homoklemezek kevésbé hatékonyak, marad az a feltétel, hogy a homokszemeknek minél szabálytalanabb alakúaknak (rücsköseknek) kell lenniök, a közel gömbös, vagy tojásalakú alapforma megtartása mellett.

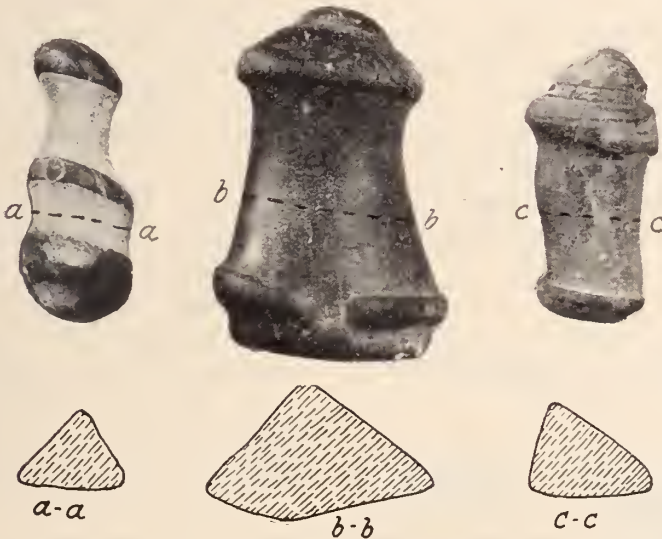
*

Az eddigiekben abból indultunk ki, hogy a levegőáramlás lamináris, valójában pedig turbulens mozgás az. Az egymás fölött haladó áramkötegek (turbulenciatestek) között a lassú diffúzió légeserét teremt. Ez nemcsak anyagi, de energetikai eltolódásokkal is jár. Ennek következtében a homokszemek forgó mozgása könnyebben és intenzívebben következik be, mint lamináris mozgás esetén. A kifejezések u. a. jellegűek maradnak, csak v_l és ω számszerű értékei lesznek nagyobbak, mint lamináris mozgás esetén lettek volna. Számszerű értékek meghatározására tényleges mérések szolgálhatnának alapul. Ilyesféle kísérletek történtek ugyan, azonban szándékom még a jövőben ide vonatkozó konkrét méréseket nagyobb számban eszközölni recens sivatagi éleskavicsok lelőhelyén.

A sivatagi éleskavicsok közt leggyakoribbak a piramidális formák, de előfordulnak prizmatikus alakúak is, amelyeket a 14. ábrán mutatok be.



14. ábra. Fossilis (pontuskori?) tengerparti éleskavicsok. *a—b* darabok a kiformálódás kezdeti állapotát mutatják, *c* példány teljesen kialakult kavics, *d* pedig kialakulás közben elmozdult darab, így főlös oldalakat is mutat. (A szerző gyűjtése.)



15. ábra. Háromélű kavicsok a pusztaszentlőrinci és pesterzsébeti kavicsbányákból. (Méretarány 3: 4.) Álul a kavicsok keresztmetszeti alakja. *a—a* homokkőkavics, *b—b* mészkőkavics (Szentlőrinc), *c—c* homokkőkavics (Pesterzsébet). (Szerző gyűjtése.)

II. Tengerparti éleskavicsok.

Tengerparti éleskavicsokról első ízben LENGYEL E. írt,² magam pedig az aradmegyei Zimándújfalu, magyar község határában levő kavicsbányában leltem — valószínűleg a harmadkorvégi magyar beltenger partjáról származó — 19 darab típusos tengerparti, fosszilis éleskavicsra.

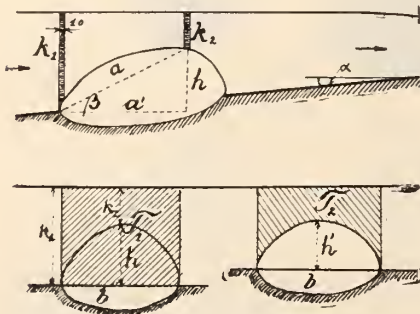
Ezek a kavicsok tökéletes összhangban vannak LENGYEL E. által leírt recens darabokkal, amit LENGYEL 1929 november 10-én kelt, hozzá-
m intézett levelében is kiemel. Néhány teljesen kialakult darab mellett vannak, amelyek a kialakulás különböző fázisait tüntetik fel. (15. ábra.) Anyagukat illetőleg főleg kvarc-, homokkő- és andezitkavicsok. A zimándújfalui kavicsbánya nem eredeti fekvésben tárja fel az éleskavicsokat, mert az eredeti abrázios tengerpart, ahol a kavicsok ki-
éleződtek, jóval magasabban feküdhettek. SAWICKI a Maros kapujában a pontusi tenger színőjét 300 m tengerszínfeletti magasságban találta meg. Ebből a szintből mosta ki az éleskavicsokat a Körös, mikor hatalmas törmelékkúpját építgette.

1. A homok mozgásának jellege.

A tengerparti éleskavicsokat a partra felfutó, homokkal terhelt hullámok esiszoló munkája formálja ki.

Az abrázios, homokos partra gyenge széllel fel-felfutó hullámok olyan sinus-szerű görbén mozognak, amelyeknek jellemzője az, hogy tetőpontjához tartozó magasságok valamely kezdeti $+X_1$, ill. $-X_2$ értéktől lineárisan csökkennek θ -ig. E hullámmozgásnál az amplitudók több méter hosszúak és a haladás irányában növekednek. Vizsgálataink ellenben csak egy igen rövid szakaszra vonatkoznak, ami számításainkat is lényegesen egyszerűsíti.

Mi a hullámmozgásnak csak 30—60 cm-es szakaszát vizsgáljuk, miközben a kavics on átfut. A partszegély síkja a vízszintessel általá-



16. ábra.

ban α szöget zár be. Tehát a v sebességgel érkező hullám s út után miközben h_0 magasságra emelkedett, Δv sebességvesztést szenvedett. Ezt a Δv -t elhanyagolom, mert másodrendű kicsiny mennyiség (16. ábra).

Megmérve az oda értelem-
ben haladó hullámok v_0 sebes-
ségét, a vizsgált kavicsok a él-
hosszúságát és lapjuk β hajlás-

szögét, kifejezhetjük azt az időt, amely alatt a hullám a kavics egyik oldalát befutja:

$$t_1 = \frac{a \cos \beta}{v_o}, \text{ amiből } a = \frac{t_1 v_o}{\cos \beta}.$$

Ezt a kifejezést felírhatjuk így is: $a \cos \beta = a' = t_1 v_o$. Ugyancsak kifejezhetjük a' értékét a visszavert hullám sebességével (v_v), amelyet szintén mérésrel határozunk meg. Ebből: $a \cos \beta = a' = t_2 v_v$.

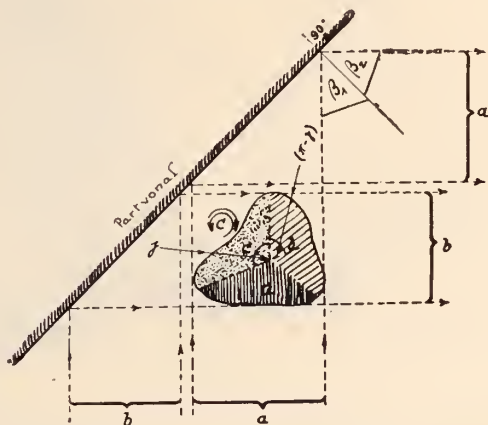
A v_o és v_v eléggé különbözhetnek egymástól, de mivel a' egyébként is kicsiny, t_1 és t_2 szintén kicsiny mennyiségek, célszerűen v_a és t_a középértékekkel dolgozunk, tehát $a' = t_a v_a$.

Amidőn a hullám a kavicson keresztül felfut a partra, magával hozza, hogy a visszavert hullám is megtegye ugyanezt az utat. LENGYEL megfigyelése szerint percenként 20—25-ször jelennek meg a parti hullámok. Ha az első határt fogadjuk is el, a naponkénti ismétlődés értékét kerekben $i = 6$ milliónak vehetjük, amiből a napi mozgásmennyiség (M): $M = ia' = it_a v_a$.

A hullámok szállította hromok mozgása a következő (17. ábra):

Az a hullámrész a kavics a lapját csiszolja odahaladtában. A b hullámrész a kavics b lapját csiszolja visszahaladtában. A kavics c lapján pedig kétféle hatás érvényesül. Ezt az a lapról legördülő és a b lapra felfutó homokszemek egyaránt csiszolják, emellett azonban a c lapon még egy kis homorú csészealakú mélyedés is képződik, amelyet a hullámok átbukásával keletkező kis örvénylések hoznak létre. A tengerparti éleskavicsoknak ez, az örvénylések okozta homorulat a főjellegzetessége. (18. ábra.)

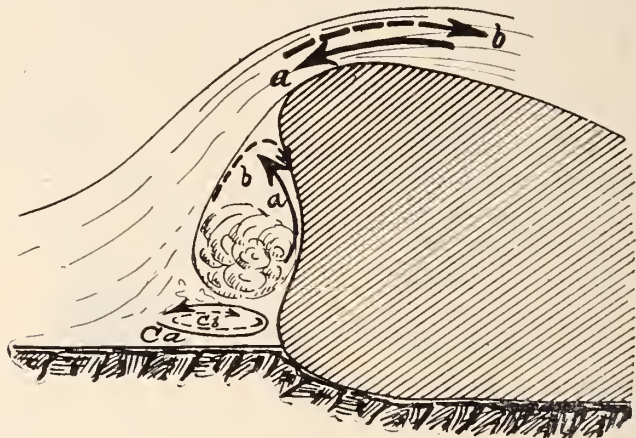
Az átbukó víztömegek alatt légritka tér keletkezik s ezért örvénylések állnak elő. Az a hullámrész az óramutató járásával ellentétes értelmű, függőleges síkú örvénylést (a) involvál. A felfutó b hullámrész az előbbivel ellentétes értelmű örvénylést (b) támaszt. E két, egymást váltogató örvénylés hozza létre a c jelű, vízszintes síkú harmadik komponenst, amely hol egyezik az óramutató járásával (c_b), hol ellentétes azzal (c_a). A három komponens közül a hullámok odahalad-



17. ábra. A sekély tengerparti csendes hullámzás csiszoló mechanizmusa BENDA szerint.

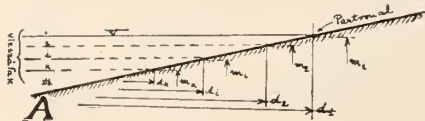
tában az $a + c_a$ eredője, visszatértükben pedig a $b + c_b$ eredője érvényesül. (18. ábra.)

LENGYEL is hangsúlyozza id. munkájában az örvénylések szerepét, majd id. m. 97. old. 16. ábrájára hivatkozva azt írja, hogy a partra β_1 szög alatt felfutó hullámok „a partra merőlegesen ... zuhannak homokkal terhelt, erejüket veszítve vissza“. Tanulmányaim szerint a β_1 alatt beverődő (17. ábra) hullámok feltétlenül egy β_2 szög alatt verődnek vissza, de ez a β_2 sem nem 90 fok, sem nem zérus, hanem közel egyenlő β_1 -gyel.



18. ábra. A lithorális kavicsok mögött keletkező örvénylések BENDA szerint.

$\beta_2 = 0$ eset csakis a felszínen következik be. A hullám bizonyos sebességgel halad és tömegével bizonyos eleven erőt képvisel, amely arra képesíti, hogy d_1 távolságra és m_1 magasságra gördüljön fel a partra. Ez az út és ez a magasságvesztés felelmesíti meg a meglévő eleven erejét. Ez az eset pedig csakis a felszíni vízcseppkéknél következik be. Minél



19. ábra.

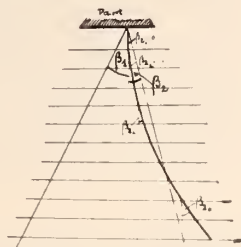
mélyebben levő vízszálakat tartunk szem előtt (19. ábra), annál hamarabb érnek azok partot, annál kisebb d_i és m_i . Tulajdonképpen itt van előttünk a parti homokon észlelt fodrok magyarázata: A partot érő hullámok vízcseppkéi megtörnek a parton és fel nem emésztett eleven erejüknek megfelelő β_2 szög alatt visszaverődnek. A plasztikus homokban a beesés és visszaverődés ténye rögződik a homlokfodrok alakjában.

Ha sorra az egymás alatti vízszálak visszaverődési szögét összegezzük és az összegből az egész hullámkeresztmetszetre vonatkozó átlá-

gos β_2 értéket számítjuk ki, akkor kapjuk meg azt a β_2 szöget, amelynek hatását jelen esetben is konstatáljuk.

β_2 -t grafikusán is megszerkeszthetjük. (20. ábra.) Bontsuk fel a hullámot (vertikális értelemben) bizonyos számú vízszálra és határozzuk meg a minden egyes áramköteghez tartozó β_2 szöget. Ezekhez integráns görbét rajzolunk, majd ahhoz középvonalat szerkesztünk. A középvonal és a part normálisa által bezárt szög az az átlagértékű β_2 , amelynek az alábbiakban oly fontos szerepe van.

Az a és b lapoknak a c felületrésszel határos élei által bezárt γ szög és a β -ák között fontos összefüggés van: $\gamma = \pi - (\beta_1 + \beta_2)$, azaz a γ szög kiegészítő szöge egyenlő $(\beta_1 + \beta_2)$ -vel. Ezen összefüggés alapján el tudjuk képzelni a hullámverés mikéntjét, a kavics és a part relatív helyzetét anélkül, hogy azt láttuk volna.



20. ábra. β_2 grafikus meghatározása képzeleti áramkötegekkel BENDA szerint.

Szélső értékek $(\beta_1 + \beta_2) = 180^\circ$. akkor, ha a hullámok merőlegesen futnak partra. Ekkor $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$, és $\gamma = \pi - (\beta_1 + \beta_2) = 0$. Ez az eset magyarázza a lithorális egyélű (kétlapú) kavicsok keletkezését.

Másik szélső eset, ha $(\beta_1 + \beta_2) = 90^\circ$, ha a hullámok 45° alatt érik a partot. Ezen alul a hullámok erőtlenekek és komoly mechanikai munkát nem végeznek.

A tengerparti éleskavicsok jellemvonásai tehát a sivatagiakkal szemben a következők: 1. Két lapjukat a homok csiszolja ki, a harmadikat az örvénylés formálja. 2. Szoros összefüggés van a három lap és a part helyzete között: $\gamma = \pi - (\beta_1 + \beta_2)$. 3. Éleik mindig tompák.

2. A homok eleven ereje és végzett munkája.

A tengerparti homoknak önálló jellegzetes mozgása, mint amelyet a sivatagi homoknál megismertünk, nincsen, éppen ezért mozgásának és munkaképességének kifejezése alakilag egyezik a vízszálak munkaképességének formulájával.

A magyarban az eleven erőnek nevezett, kinetikai energia nem erőt jelöl, hanem a tömeg (m) és a sebességnégyzet (v^2) félszorzatát. Az eleven erő egysége munkajellegű és két pontra

vonatkoztatott eleven erő különbsége egyenlő a ható erők által a két pont között végzett munkával (L), azaz

$$L = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}.$$

Taglaljuk ezt a képletet. (16. ábra.) Az érkező hullám v_1 sebességét megmértük. Ezzel éri a kavicsot, a k_1 keresztmetszetben, ahol $T_1 = bk_1$ átfolyási szelvény áll szabadon. A kavics tetőpontján az átfolyási szelvény kisebb: $T_2 = bk_1 - \frac{2}{3}bk = b(k_1 + \frac{2}{3}h)$. Itt $k_1 (=)k_2 + h'$, azaz $h' (=)h$ vettük. Felhasználva azt a törvényt, amely szerint a különböző szelvényekben az átömlő vízmennyiségek egyenlők, meghatározhatjuk v_2 sebességet. Mert $T_1v_1 = T_2v_2$, amiből

$$v_2 = \frac{T_1}{T_2} v_1.$$

Visszatérve az eleven erő, illetve a munka meghatározására, hogy m -et kifejezhessük, k_1 és k_2 keresztmetszetekben vegyünk fel egy-egy egységnyi széles sávot, valamint az esetenként meghatározható hordalékos, homokos víz (hullám) fajsúlyát jelöljük γ_h -val. Akkor

$$\frac{T_1\gamma_h v_1^2}{2} - \frac{T_2\gamma_h T_1^2 v_1^2}{2T_2^2} = L,$$

azaz

$$\boxed{L = \frac{T_1 v_1^2 \gamma_h}{2} \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)} \dots\dots\dots 5.$$

A munkát még más úton is kifejezhetjük, mert az egyenlő az erőnek és az erő irányába eső elmozdulásnak a szorzatával. Ha tehát p -vel jelölöm a hullámnak az egységnyi területemre eső, egyenletesen megoszló nyomását,

$$\boxed{L = T_a p v_a} \dots\dots\dots 6.$$

ahol T_a és v_a számtani középértékek. Az 5. és 6. képletek egységnyi munkát fejeznek ki, mert az időegységre vonatkoznak. Mi azonban ki tudjuk fejezni a napi munkamennyiséget is az előzők alapján, mert

$$L_{napi} = iLt_a.$$

3. A tengerparti homok csiszoló munkája.

A tengerparti homok csiszoló munkája jóval egyszerűbb folyamat, mint a szélhajtotta sivatagi homoké. A hatékony munka feltételei itt: 1. a hullám minél több homokot mozgasson; 2. az

érkező hullám v_1 sebessége legyen lehetőleg nagy; 3. a kavics lehetőleg mélyen feködjék, hogy T_1 értéke nőjjon; 4. meredek partperem; 5. kemény homok, torha kavics; 6. minél gyakrabban visszatérő hullámok.

Hogy a hullámok ki ne mozgítsák a kavicsot helyéből, a következő egyensúlyi feltételnek kell állnia (21. ábra.) $Rr \leq Gg$.

Ebben az egyenletben R a megtámadott lapra ható összes erők eredője, G a kavics súlya, g és r pedig nyomatóki karok. K az a pont, amely körül ki akarja fordítani az Rr nyomatók a kavicsot helyéből.



21. ábra.

*

Végül csatlakozom vitéz LENGYEL E. javaslatához, hogy a jövőben az éleskavicsokat „csiszoltkavicsok”-nak nevezzük, mert ez az elnevezés jobban kifejezi annak a munkának jellegét, amely ezeket a kavicsformákat létrehozza.

AZ ERDÉLYI TENGERI EOCÉN ÜLEDÉKEK MECHANIKAI ÖSSZETÉTELÉRŐL ÉS FÁCIÉS-VISZONYAIRÓL.

Irta: SZÁDECZKY KARDOSS ELEMÉR dr.*

Az erdélyi eocén kőzettanával e folyóiratban foglalkoztam (Irodalom 23.). Alábbiakban az eddigi kőzettani adatokat olyanokkal kívánom kiegészíteni, melyek a mechanikai elegyrészek szemnagyság szerinti összetételére, másrészt a kőzetalkotó organizmusokra és azok mennyiségi viszonyaira, végül néhány eddig kőzettanilag egyáltalán le nem írt előfordulásra vonatkoznak.

A szemnagyság szerinti összetétel vizsgálata, illetőleg értelmezése némileg új szempontok szerint történik. Ezért szükségesnek látszik, hogy e szempontokat e helyen is röviden összefoglaljam. Ez az összefoglalás azonban teljességre nem tarthat számot.¹

* Előadta a Magyarhoni Földtani Társulat 1930. évi november hó 5 én tartott szakülésén. A kőzetalkotó kövületekre vonatkozó megjegyzések újabb vizsgálatok eredményei.

¹ A kérdés részletes kifejtése rövidesen napvilágot lát. Ennek a későbbi dolgozatnak egyik előtanulmányát képezik jelen vizsgálatok is.