A MADÁRTOJÁSOK ALAKJÁNAK FUNKCIONÁLIS SZEREPE

Erőss Lajos

A dolgozat célja az egyes tojástípusok mozgásával kapcsolatos néhány jellegzetesség vizsgálata, különös tekintettel arra, hogy az alak és a fészkelési szokások között milyen összefüggés mutatkozik.

1.

Definiáljunk mindenekelőtt néhány fogalmat, melyekről mindenkinek van elképzelése, de egyértelmű meghatározásuk a következőkben szükséges lesz.

A tojás *csúcsainak* nevezzük a héj egymástól legtávolabb levő két felszíni pontját (1. ábra).

A tojás *hosszán* ezt a távolságot értjük (2. ábra).

A tojás *tengelyének* a két csúcson átmenő egyenest nevezzük.

Megállapítható, hogy a tengely egyben szimmetriatengely is (Mödlinger—Kapocsy, 1980), már csak a megtojás fiziológiája miatt is, amelyből adódik, hogy a tengelyre minden merőleges síkmetszet kör (2. ábra).

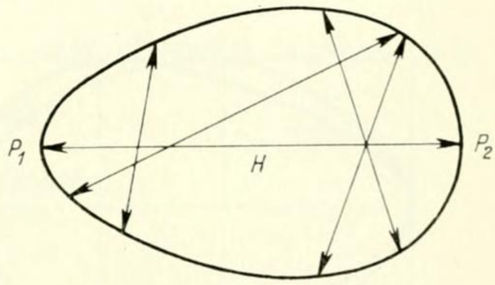
A tojás szélességén az említett legnagyobb kör átmérőjét értjük (3. ábra).

A hegyesebbik csúcsnak a maximális átmérőjű kör (főkör) síkjától távolabbit, a tompábbik csúcsnak a közelebbit nevezzük.

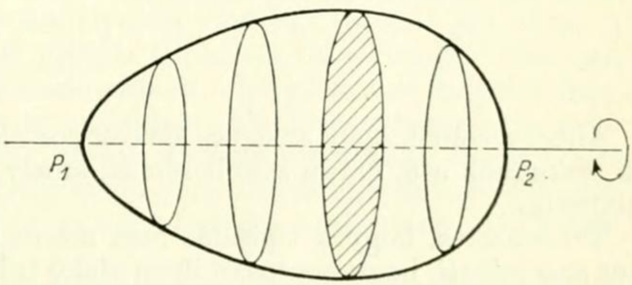
Súlyponton az általános fizikai értelemben vett súlypontot értjük.

Megjegyzem, hogy a fekvő tojás súlypontja némileg a tengely alá süllyed, mi-

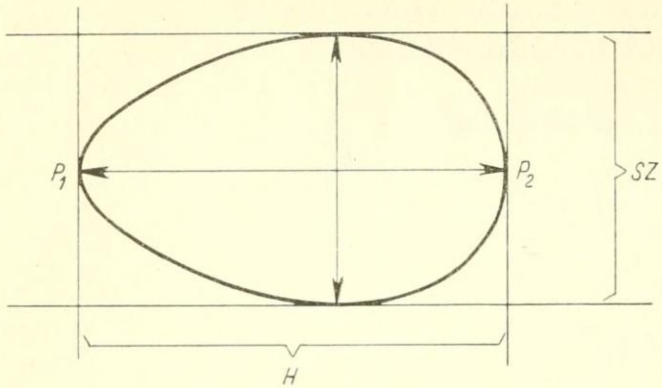
A madártojások alakjának funkcionális szerepe – The function of shape in bird's eggs



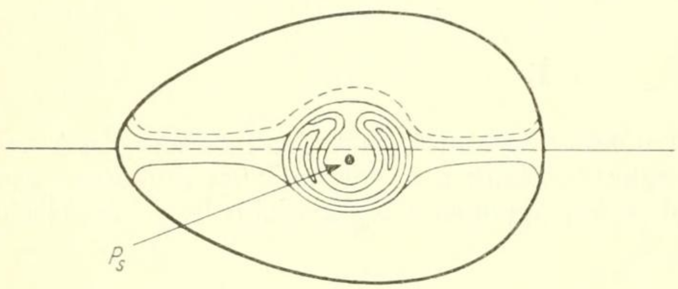
1.



2.



3.



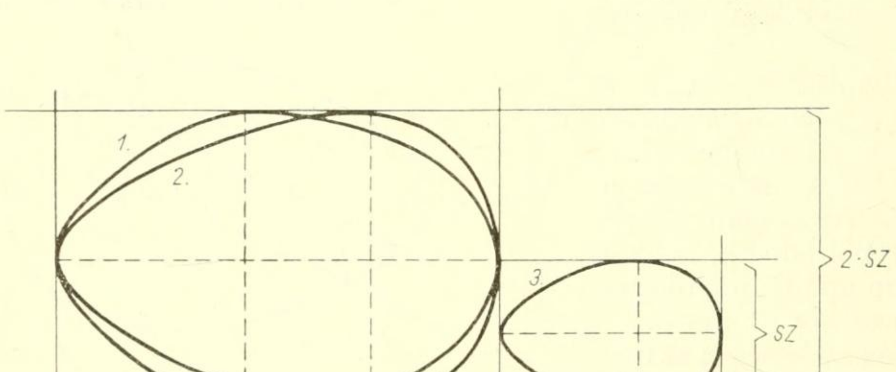
4.

vel a tömegeloszlás nem egyenletes. A sárgája a tengelyhez képest kissé lejjebb kerül, és a sárgája súlypontja is az alsó (vegetatív) részben van, hogy a felső (animális) részt érje a kotló madár melege (4. ábra).

Nyújtottságon (szokás ezt *profilnak, tojásindexnek* is nevezni) a szélességgel elosztott hosszúságot értjük.

Tompaságon ennek a reciprokát.

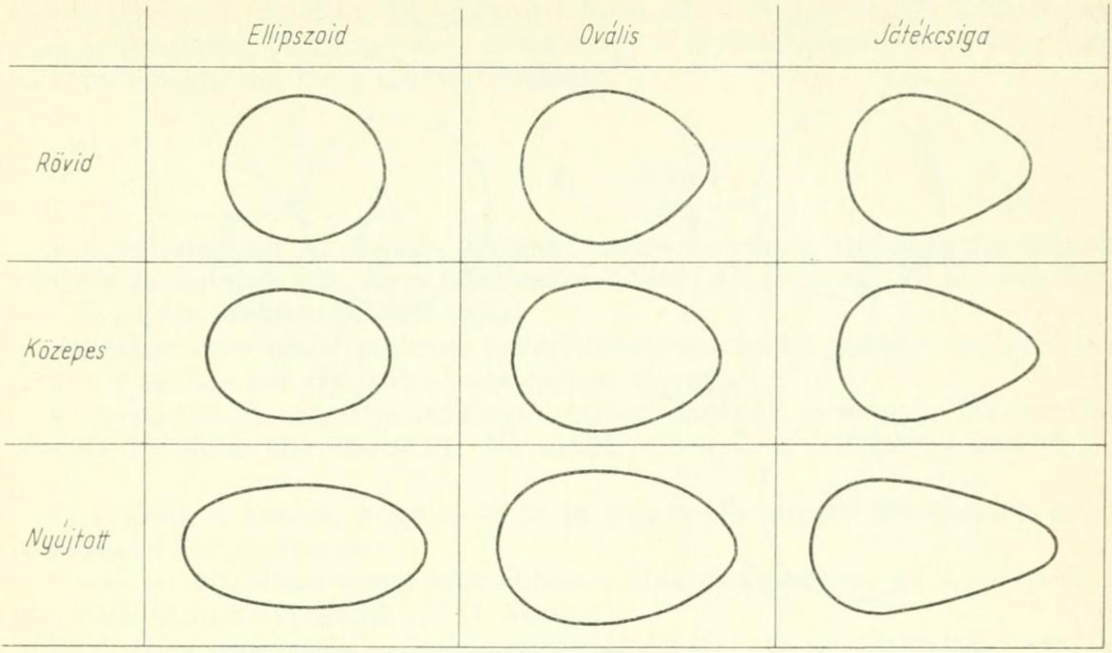
A definícióból látható, hogy a nyújtottság 1-nél nagyobb, a tompaság 1-nél kisebb pozitív szám; továbbá az, hogy az ilyen módon képzett index nem ad felvilágosítást sem a tojás nagyságáról, sem pedig a héj görbületéről (5. ábra).



5.

Abból a célból, hogy az egyes alakcsoportokat pontosabban tudjuk jellemezni, tekintsük a 6. ábrán közölt sémát, amely *Makatsh* (1972) irodalmi adatán alapszik.

Természetes, hogy a tipizálás nem meríti ki az összes lehetséges alakot, és azt sem jelenti, hogy pontosan ilyen alakú tojások léteznek. Mindössze modellt



6.

ad a vizsgálatok számára. Konkrét esetben a hasonlóság mértéke határozza meg a kapott eredmény alkalmazhatóságát.

2.

Erőn viszonylag kis erőket értünk, azaz olyanokat, amelyek nem törik össze a héjat.

A mozgások fő típusaival foglalkozunk:

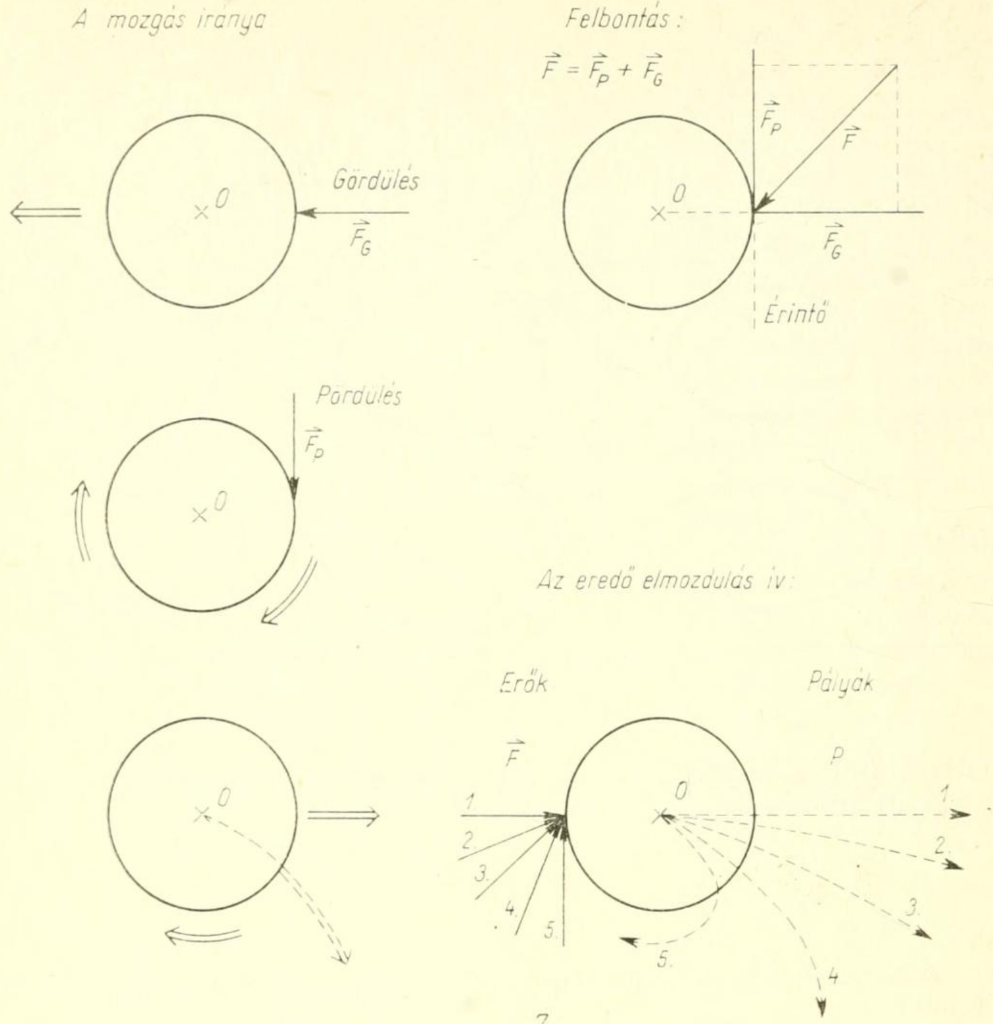
a) *súrlódó* (csúszó) mozgás (helyváltoztatás),
b) *gördülés* (hely- és helyzetváltoztatás),
c) *pördülés* (helyzetváltoztatás).

A következőkben sematikusan megvizsgáljuk — egy (elméleti) gömb alakú tojás példáján — az aljazattal párhuzamosan ható erő esetét (7. ábra).

Az $\vec{F}$ erő két komponensre bomlik, az egyik gördíteni, a másik pördíteni igyekszik a tojást (ha mindkettő akadályozva van, úgy csúszás jön létre). A szélső esetektől eltekintve, mindkét mozgás fellép, amelynek eredője ívmozgás lesz, és amelynek nyitottsága a támadó erőnek a héjjal bezárt szögétől függ.

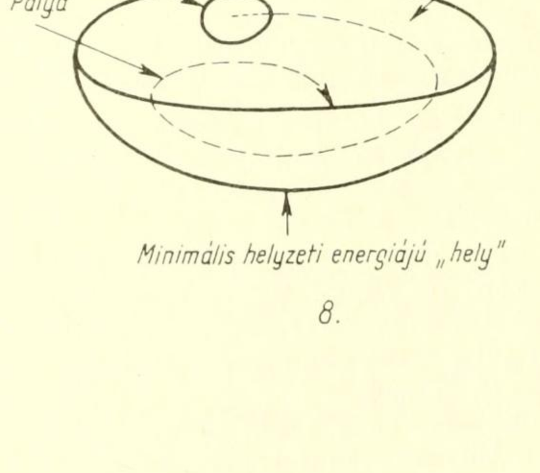
Mivel a madarak nagy része zárt odvakban, költőüregekben vagy ovális csészéjű fészkekben költ, az előbbi típusú mozgás módosulva megy végbe (8. ábra). Azaz megállapíthatjuk, hogy még a gömbszerűen kerek vagy tetszőleges alakú tojások sem gurulhatnak ki, mivel mozgásba lendülve az odú (fészek) legmélyebb pontja felé törekszenek.

Azt, hogy a fészek öblössége vagy a tojás speciális alakja a biztonságos költés szempontjából milyen lényeges, lemérhetjük például a balkáni gerle *(Strep-*



A mozgás iránya
Felbontás:
$\vec{F} = \vec{F_P} + \vec{F_G}$
Gördülés
$\vec{F_G}$
$\vec{F_P}$
$\vec{F}$
O
Érintő
Pördülés
Az eredő elmozdulás ív:
Erők
Pályák
$\vec{F}$
P
1.
2.
3.
4.
5.

7.



Tojás
Fészekcsésze
Pálya
Minimális helyzeti energiájú „hely"

8.

topelia decaocto) esetében. Itt ugyanis a közönséges ovális tojásalak találkozik a lapos fészekkel, és bizony nem ritka, hogy a tojások kihullanak a fészekből hirtelen felröppenés vagy más ok hatására.

3.

A továbbiakban ki fogom mutatni, hogy a vázolt tojásalaktípusoknak konkrét funkciójuk van. Nem véletlenszerű tehát az, hogy egy faj hogyan fészkel, és milyen alakú tojásokat tojik.

Nevezzük érintkezési pontnak a héjfelület azon külső pontját, amelyre helyezve a tojás a sík aljzaton nyugalomban marad.

Az ilyen tulajdonságú pontok egy körívet alkotnak (a tengely szimmetriatengely voltából következően). Nevezzük ezt a kört érintkezési körnek (9. ábra).

Felvetődik a kérdés, hogy a főkör (a maximális sugarú körmetszet) és az érintkezési kör egybeesik-e?

A válasz: általában nem, csak abban a kivételes esetben, ha a súlypont a főkör síkjában helyezkedik el (11. ábra, *a*).

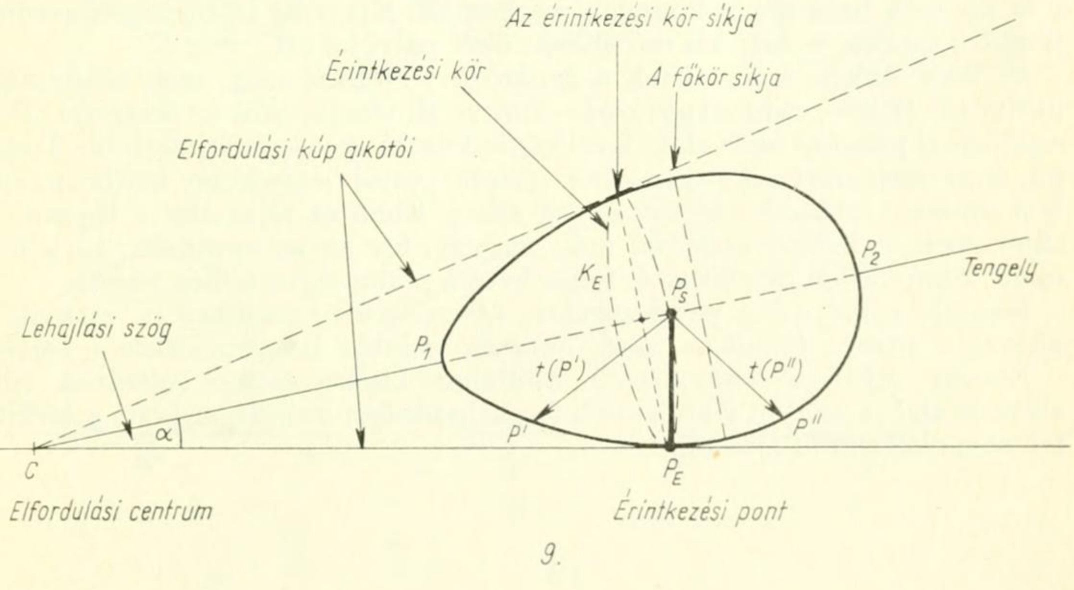
Írjuk fel a potenciális energia egyenletét a súlypont és a héjfelület pontjai közötti távolság függvényében:

$$E_{\text{pot}} = mt(P),$$

a nyugalmi helyzet ott van, ahol a potenciális energia minimális:

$$O = \frac{dE_{\text{pot}}}{dt(P)} = m\frac{dt\ (P).}{d(P)}$$

Ez megfelel annak, hogy a súlypont a lehető legalacsonyabban helyezkedik el.



9.

Innen adódik, hogy a súlypont, ha nincs a főkör origójában, akkor attól lejjebb van, azaz a tengely nem párhuzamos (nyugalmi helyzetben) az aljazattal, hanem azzal valamilyen szöget zár be.

Nevezzük ezt a szöget lehajlási szögnek, a tengely és az alapsík döféspontját pedig elfordulási centrumnak (9. ábra).

Vegyük sorra az egyes típusokat.

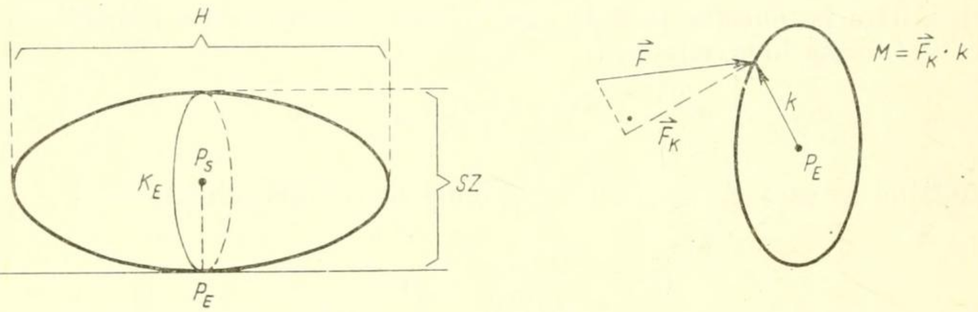
Ellipszoid alakú tojások

Könnyen belátható, hogy ebben az esetben az érintkezési kör és a főkör egybeesik, hiszen a főkör sugara éppen a kistengely és ez éppen a héjnak a súlyponthoz legközelebb eső pontjait határozza meg. Ebből következnek:

— a tengely párhuzamos a sík aljazattal;

— a főkör síkjában támadó erő egyenes vonalú gördülő mozgást hoz létre;

— minél közelebb hat az erő a csúcsokhoz, annál nagyobb mérvű pördülést hoz létre (10. ábra).



10.

Mindezek azt eredményezik, hogy az ilyen alakú tojások nyugalmi helyzete már kis erők hatására is könnyen megbomlik. Kis erők is könnyen gördítik, pördítik ezeket, és már kis erő eltéríti őket pályájukról.

Mi lehet ennek a formának a funkciója? Nézzük meg, mely madaraknál fordul elő ez a — nem túl gyakori — forma. Mindenek előtt a vöcskökre *(Podicipitiadae)* jellemző ez az alak. Itt a legtipikusabb és a legkifejezettebb. Tudjuk jól, hogy ezek növényi anyagokból épített „tutaj"-fészekben költenek, amelyet moszat, rothadó növényi anyag alkot. Ebbe az aljazatba a tojások besüppednek, a fellépő súrlódási erők nagyok, így az az optimális, ha a tojás minél könnyebben mozdítható, forgatható a biztonságos költés végett.

Hasonló a helyzet a pusztaityúkok *(Pterocliadae)* esetében is, csak itt az aljazat a puszta homokos talaj, amelybe szintén benyomódnak a tojások.

Némely ragadozó nagyméretű, általában kisebb számú tojásának rövid ellipszis alakja szintén a könnyebb forgathatóságot szolgálja, de itt a térkitöltés nem elsőrendű fontosságú.

Ovális alakú tojások

Mint már korábban is megállapítottuk, a súlypont csak kivételes esetben helyezkedik el a főkör síkjában, azaz csak abban az esetben, ha a főkör síkja a tojást két egyenlő térfogatú részre osztja (11. ábra, *a*). Mivel ez általában nincs így, a tengely lehajlik, és erő hatására speciális mozgás jön létre. A támadó erő itt is két komponensre bomlik: az egyik gördíteni, a másik pördíteni igyekszik a tojást. Minél távolabb támad az erő az érintkezési ponttól, annál nagyobb mérvű a helyzetváltoztatás. Az eredő elmozdulás ív lesz (11. ábra, *b*).

A létrejött elmozdulás megfelel egy kúp csúcsa körüli elfordulásnak, amelyet egyrészt az elfordulási centrum mint csúcs, másrészt az érintkezési kör mint alapkör határoz meg (9. ábra). Formulázható a leírt körpálya sugara:

$$R = \sqrt{r_e^2 + r_e^2 ctg^2\,\alpha} = r_e \sqrt{1 + \mathrm{ctg}^2\alpha} = r_e/\sin\alpha,$$

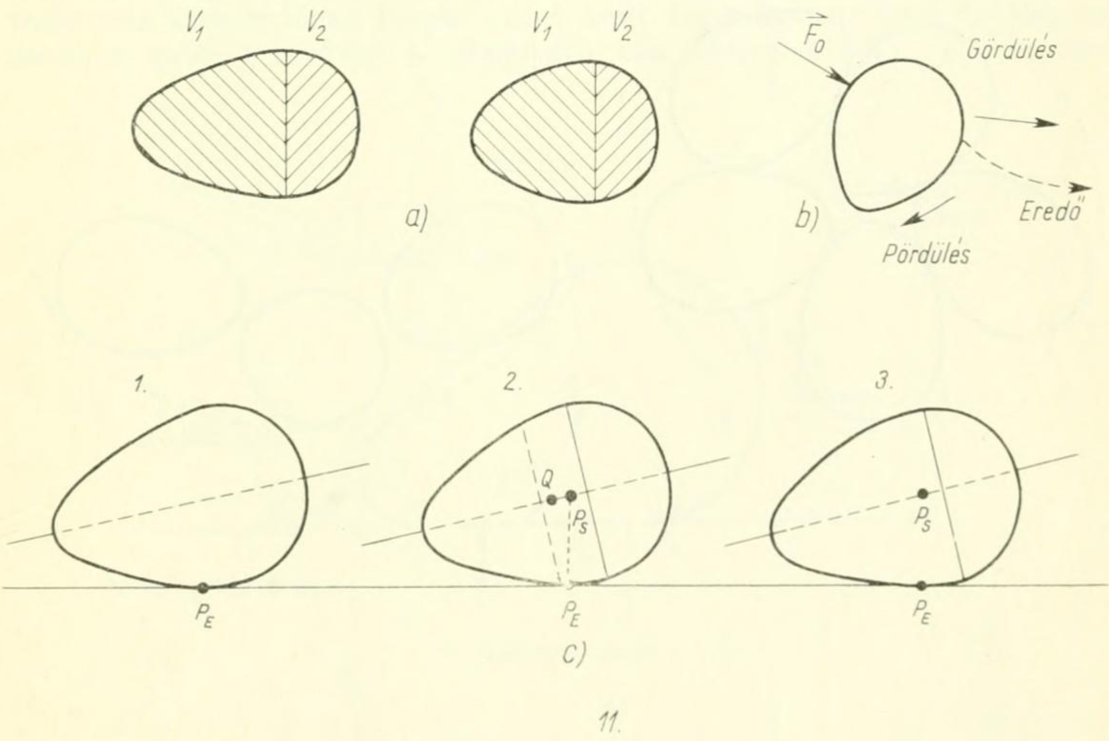
és az is, hogy hány fordulat után tér vissza eredeti helyzetébe:

$$N = K/k = \frac{2r_e\pi}{\sin\alpha} \Big/ 2r_e\pi = \frac{1}{\sin\alpha}.$$

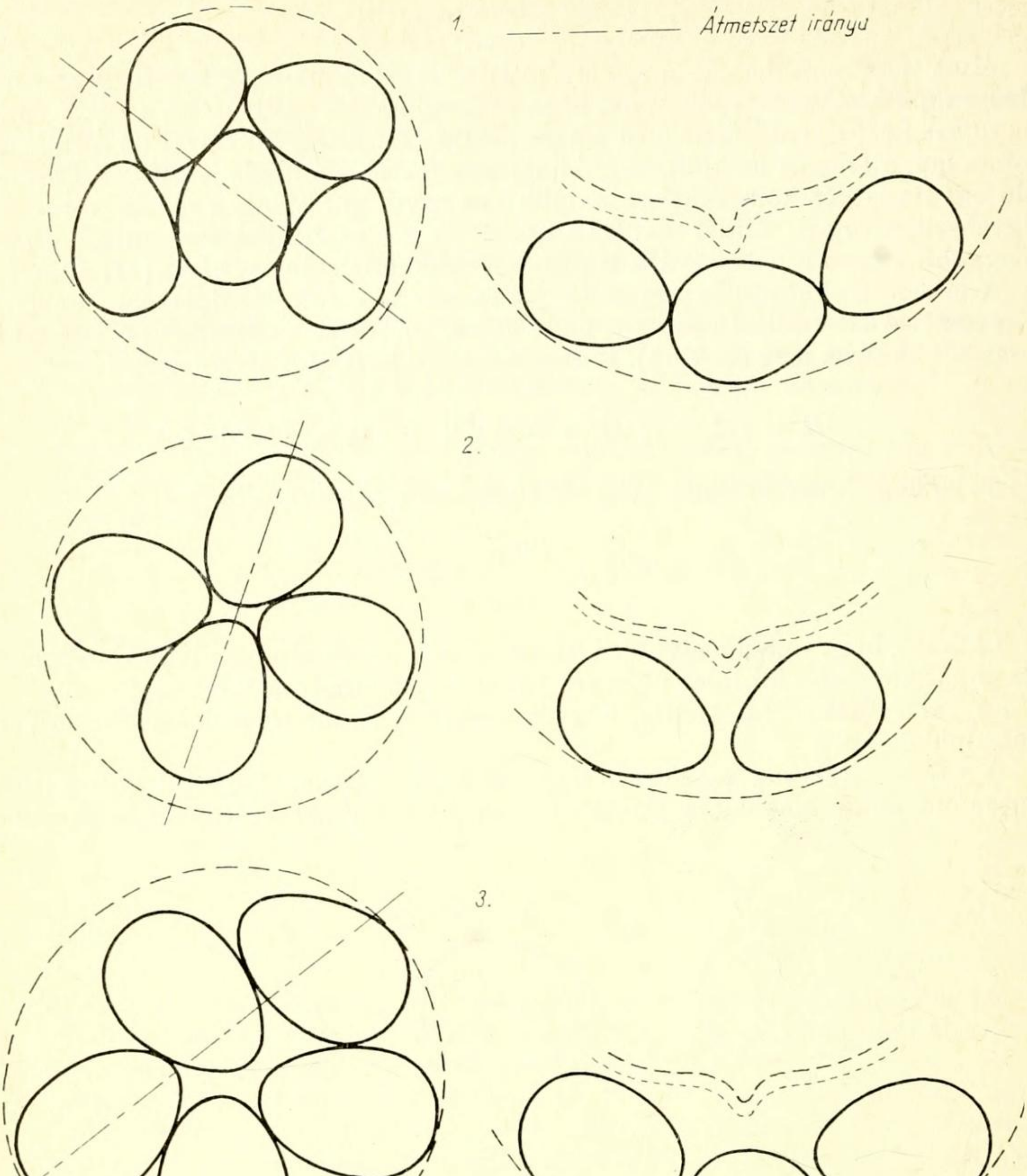
Látható, hogy minél nagyobb a lehajlási szög, annál kisebb a leírt kör sugara, és annál kevesebb fordulat után tér vissza kiindulóhelyzetébe.

Joggal vethető fel a kérdés, hogy a tompább ovális tojások kisebb köríven mozdulnak-e el?

A válasz általában nemleges. Ugyanis ha a súlypont helyzete változatlan maradna, akkor igaz volna. Mivel a tompább tojásoknál a súlypont és az érint-



11.



12.

kezési kör középpontja természetesen közelebb kerül a főkör középpontjához, a tengely lehajlása csökken (11. ábra, *c*). Azaz a súlypont nem Q-ban, hanem hátrább helyzkedik el.

Megállapítható tehát, hogy a nyugalmi helyzet könnyen megváltoztatható, így az elgurulás veszélye is nagy. Ez azonban inkább előny, mivel ez a típus főleg odvakban, csészeszerű fészkekben fordul elő: innen ki nem gurulhat, viszont forgatásuk könnyű. Az ilyen tojások általában többedmagukkal fordulnak elő, így egymáshoz is súrlódnak, méginkább fontos ezért a könnyű mozgathatóság. Ez az alak a golyó formájú vagy ellipszoid alakú tojásokkal szemben más előnyöket is hordoz, éspedig:

— jobb térkitöltésűek (12. ábra, *a*),

— könnyebb a befedésük (12. ábra, *b*).

Felhívom a figyelmet a fészek csésze alakjának szerepére.

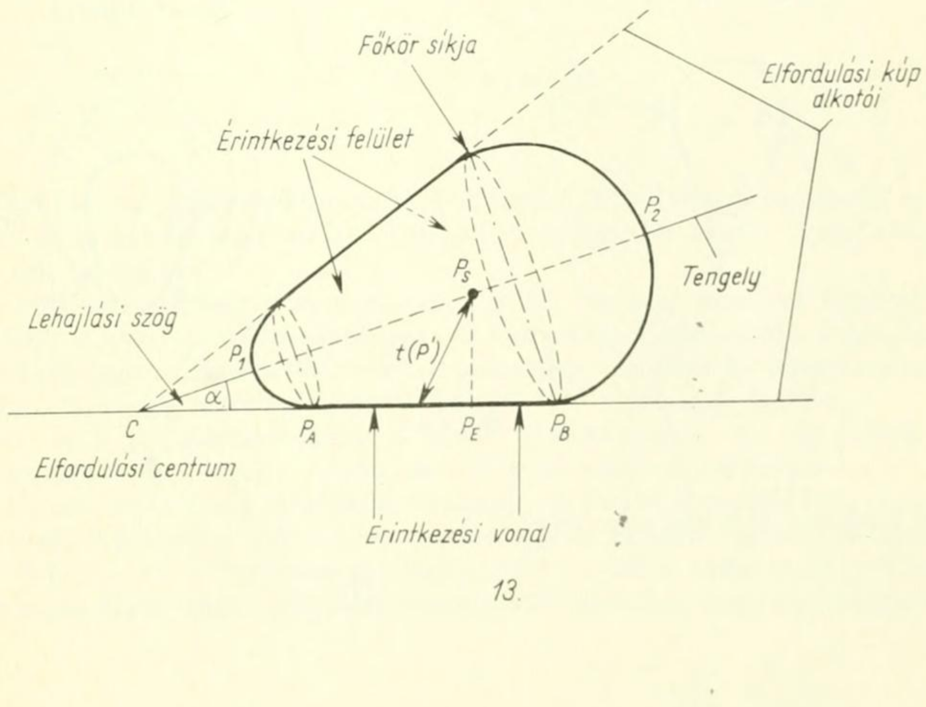
Fordított játékcsiga alakú tojások

Ennek a típusnak az a fő jellemzője, hogy a hegyesebbik vége felé hosszabb-rövidebb kúppalástra illeszkedő (vagy majdnem illeszkedő) része van (13. ábra).

Becsüljük meg a súlypont helyzetét a főkör síkjához képest. Közelítsük a tojás alakját egy félgömb és egy kúp segítségével. Annak feltétele, hogy a súlypont ebben az esetben a főkör origójában legyen, a következő:

$$\frac{4r^3\pi}{3}/2 = \frac{r^2\pi m}{3} => 2r = m.$$

Látható, hogy ebben az idealizált esetben is csak akkor állna fenn, ha a kúpszerű rész kétszer olyan magas lenne, mint a gömbszerű. Ez a valóságban azonban nincs így, mert a gömbszerű rész benyomottabb, a kúpszerű



13.

pedig lekerekített. Ebből következően a súlypont a főkör síkja előtt helyezkedik el a hegyesebbik csúcs felé (13. ábra).

Minden olyan esetben, amelyben a P_E rész a P_A és az P_B közé esik (és ez a gyakorlatban így van), az egyensúlyi helyet azonos pozícióban áll fenn, azonban minél nyújtottabb a tojás, annél alcsonyabban helyezkedik el a súlypont, azaz az egyensúlyi helyzet annál stabilabb.

Mivel az érintkezés itt nem egy ponton történik, hanem egy vonal mentén, célszerű érintkezési vonalról, illetve érintkezési felületről beszélni (13. ábra). Ez az érintkezési vonalnak a tengely körüli forgatásával keletkezik.

Az előbbiekből következik, hogy lökés vagy ütődés hatására létrejövő mozgás nem pördülés lesz (hiszen az érintkezési vonalon fellépő súrlódás ezt meggátolja), és a mozgásfajta nem lehet elgurulás sem, mivel a létrejövő gördülés kicsiny sugarú körben megy végbe. Természetesen, ha a támadó erő a hegyesebbik csúcs közelében hat, úgy az a tojást a P_B rész körül megforgathatja. Ez azonban a nagy súrlódás miatt gyorsan lefékeződik (14. ábra, *a*—*b*).

Látható, hogy mindkét esetben a létrejövő mozgás pályája egészen szűk behatárolt kör, azaz az elgurulás sík felületen kizárt.

Megjegyzem, hogy a megpördülés, azaz a 14. ábra *a)* részén vázolt körbefordulás nem pontosan a hegyesebbik csúcs körül megy végbe, hanem egy ahhoz közeli pont, a képzeletbeli érintőkúp csúcsa körül. Ez a forma nemcsak az elgurulás, hanem a legurulás ellen is (bizonyos fokú) védelmet nyújt.

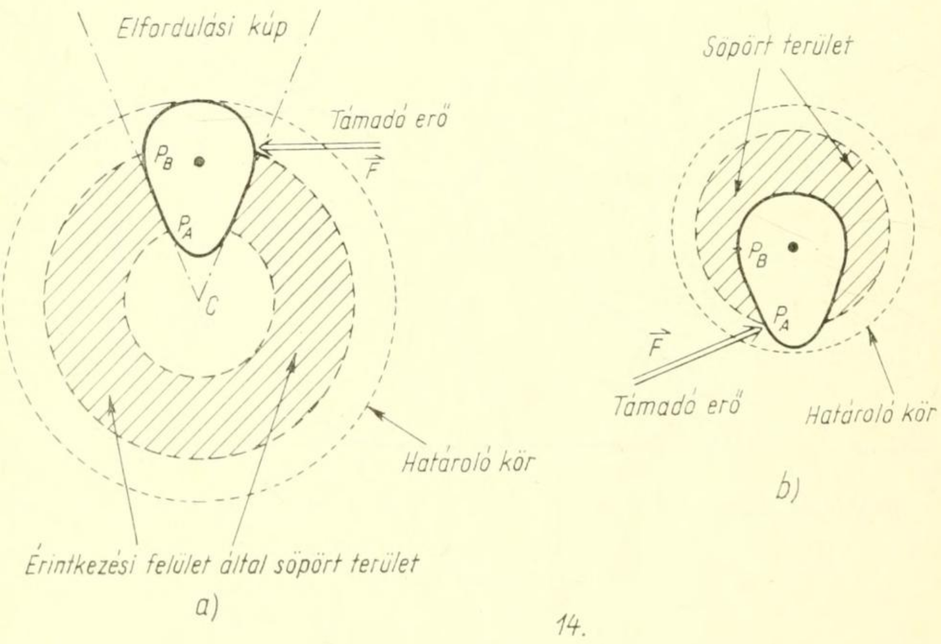
Milyen esetek fordulhatnak elő lejtős felületen?

A 15. ábra *a)* pontján ábrázolt helyzet:

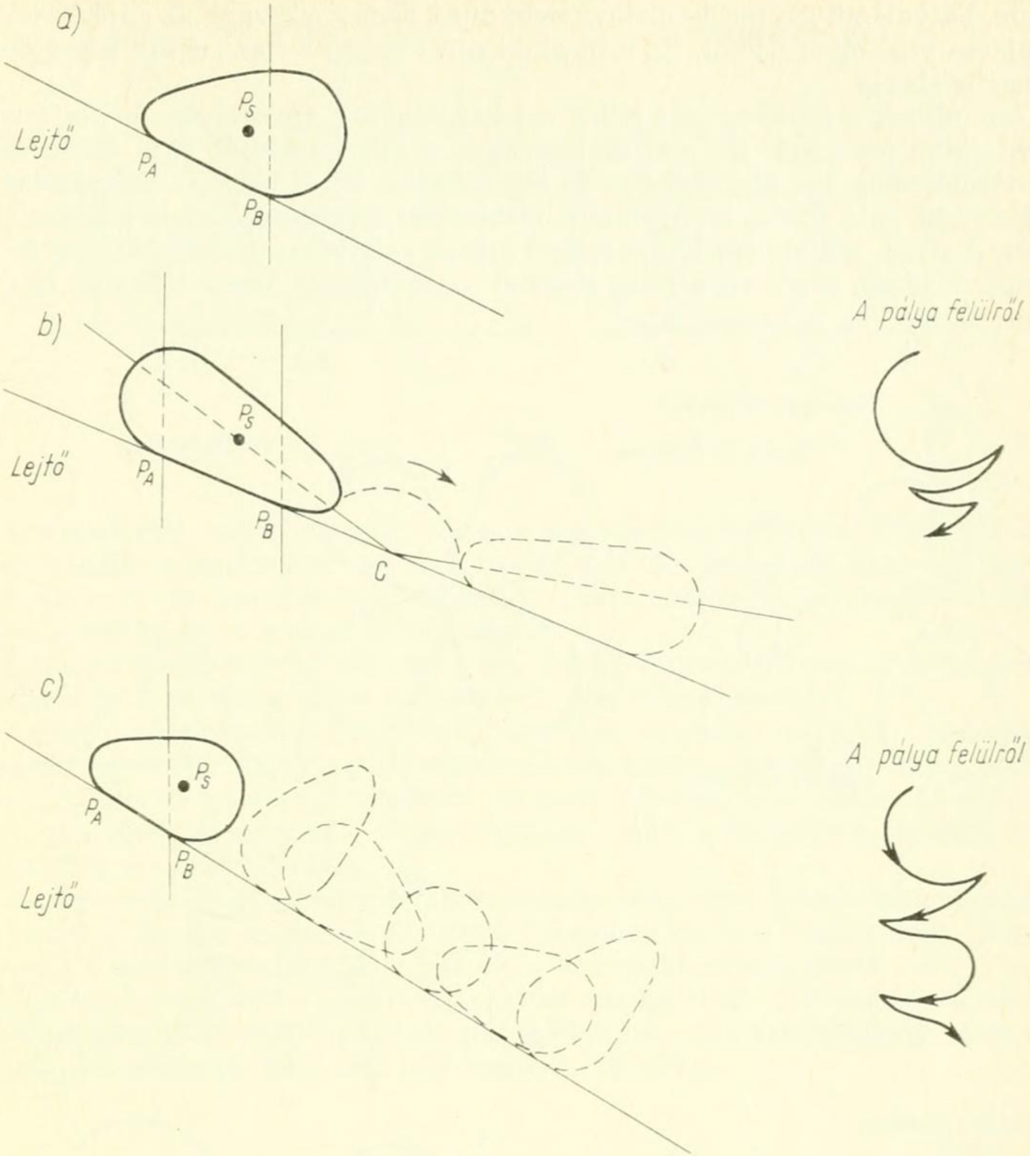
— a tojás a tompább végével a lejtőn lefelé helyezkedik el, és a súlypont az érintkezési ponton átmenő, a lejtő alapjára (vízszintes) merőleges és a hegyesebb csúcs között foglal helyet. Ez az állapot a stabil egyensúlyi helyzet. Azaz a tojás enyhe lejtőn egyensúlyban marad!

A 15. ábra b) pontján ábrázolt helyzet:

— ebben az esetben a hegyesebb csúcs mutat a lejtő irányába. Ez labilis



14.



15.

egyensúlyi helyzet, kitérítve innen körben fordul, majd (némi ingaszerű mozgás után) az a) pontban leírt stabil egyensúlyi helyzetbe kerül. Azaz ebben az esetben sem gurul el.

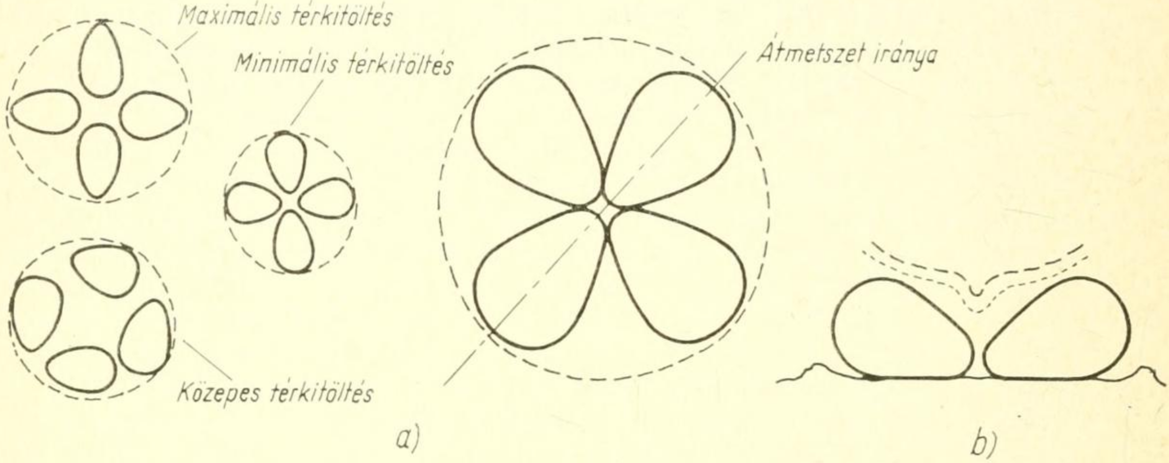
Ha a lejtő meredekebb, természetesen a 15. ábra *c)* pontján ábrázolt eset áll elő. Ekkor a súlypont a merőleges és a tompább csúcs között foglal helyet, így egyensúly nem áll fenn, és a tojás azonnal a 15. ábra *b)* pontján ábrázolt helyzetbe jut, majd némileg fékezett bukdácsoló mozgással legurul.

Vonjuk le a következtetéseket a vázolt jelenségekből, és vizsgáljuk meg, milyen funkciót tölt be ez a forma, és miért jellemző egyes fajokra.

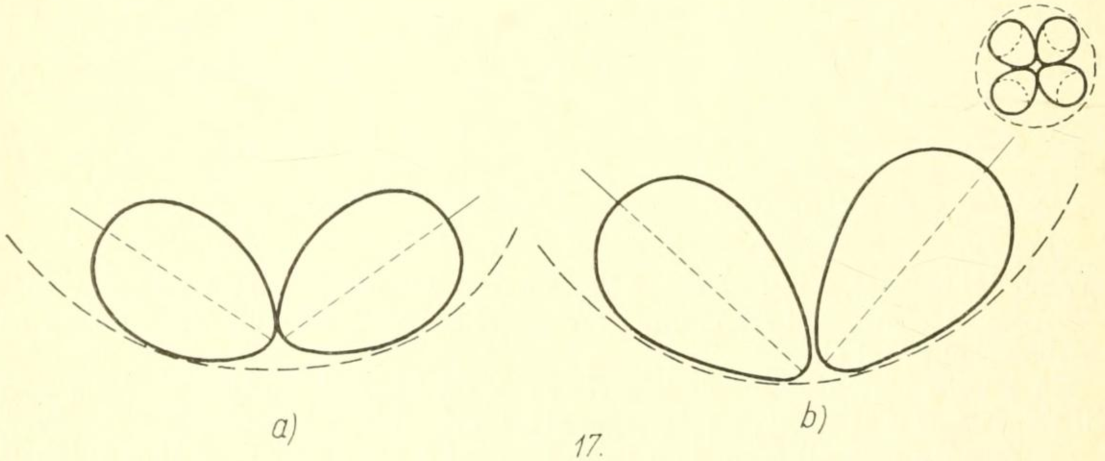
Ez a típusú tojás főleg sziklákon, csupasz, sík felületeken fészkelő madaraknál gyakori. Különösen jellemző a madárhegyek keskeny sziklakiszögellésein fészkelő fajokra. Itt a hatalmas madártömeg kénytelen minden helyet kihasználni. A tojás biztonságos kiköltése veszélyeztetve volna, vagy éppen lehetetlen lenne, ha valamilyen mechanizmus nem óvná őket a sík vagy az enyhén lejtős felületen való elgurulástól. Ez a mechanizmus éppen a tojás előbb ismertetett speciális alakja.

Gondoljunk a sajátságosan költő császárpingvin (*Aptenodytes forstrei*) nem ilyen alakú tojásaira. Ha a tojás kipottyan a költőtasakból, el is gurul, és a madárnak nem kis ügyességébe és fáradságába kerül helyére visszajuttatni.

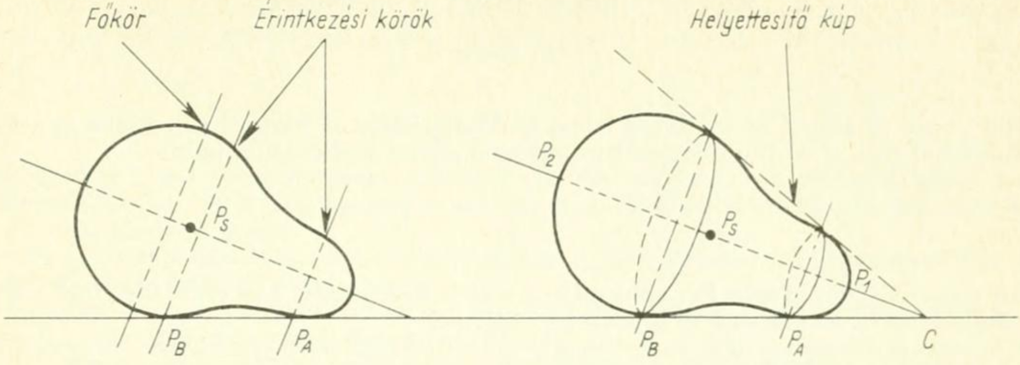
Másrészt ez a forma az optimális térkitöltés szempontjából is nagyon előnyös. A goda, a bíbic stb. földre rakott tojásai csúcsukkal összefordulnak és — annak ellenére, hogy viszonylag nagyok — minimális teret töltenek ki (16. ábra, *a*).



16.



17.



18.

Harmadrészt, mivel az ilyen típus a hegyesebbik csúcsával lefelé mutatva helyezkedik el, biztosítva van, hogy a befedés és a melegítés optimális legyen (16. ábra, *b*). Az, hogy az egész teret nem tölti ki, azért fontos, hogy a forgatás ilyen speciális típus mellett is lehetséges.

Joggal vethető fel a kérdés, hogy ha ennek a formának ilyen sok előnye van, miért nem ilyen alakú tojást raknak az ovális tojású madarak?

Amint a 17. ábráról *(a)* is látható, az ovális tojásalak megfelel a csészeszerű fészek (vagy odú, költőüreg) kívánalmainak, addig a játékcsiga alakú tojások nem. Ez ugyan a teret jól kitöltené, de nem biztosítaná az optimális melengetést, másrészt olyannyira összeszorulnának, hogy a forgatásuk nehézzé vagy lehetetlenné válna (17. ábra, *b*).

Megjegyzem, hogy az irodalomban szokás csepp vagy körte alakú tojásokról is beszélni. Ezek a hegyesebbik végük közelében enyhén beszűkülnek. Elkülönítésük a játékcsiga alakúaktól nehézkes, és elviekben sem jelent újat. Ugyanis ezek mozgása megfelel a játékcsiga alkúak mozgásának. A fogalmak is néhány módosítással átvihetők. Az érintkezési felület helyett a két érintkezési kör által definiált érintkezési felületről kell beszélni (18. ábra).

Author's address:
Erőss Lajos
H—6000 Kecskemét
Liszt Ferenc u. 15/B. III. 1c.

Literatur–Irodalom

Herman O. (1914): A madarak hasznáról és káráról. About the use and damage of birds Budapest, Pallas Kiadó.

Madarász G. (1903): Magyarország madarai. The birds of Hungary. Természettudományi Társ. Budapest.

Makatsch, W. (1972): Ahány madár, annyi tojás. So many birds, so many eggs. Natura, Budapest. 10–12. p.

Mödlinger P.–Kapocsy G. (1980): A madarak világa. The world of birds. Budapest, Gondolat Kiadó, 112–117 p.

Peterson, R. T.–Mountfort, G.–Hollom, P. A. D. (1977): Európa madarai. The birds of Europe. Budapest, Gondolat Kiadó. Urania, 1970

The function of shape in bird's eggs

L. Erőss

The paper is aimed at studying some characteristics of motion in various egg types with special regard to the relationship between shape and nesting habits.

1.

Let us define first of all a few concepts of which everybody has some idea but explicit determination of which will be needed hereinafter.

The two *outside points* of the egg being the most distant from one another are called the points of the egg (Fig. 1).

By egg *length* we mean this distance (Fig. 2).

The straight passing through the two points is called the *axis* of the egg.

The axis is at the same time a median axis (*Mödlinger–Kapocsy*, 1980) if only because of the physiology of egg laying from which it follows that every plane section perpendicular to the axis is a circle (Fig. 2).

By egg *width* we mean the diameter of the largest circle (Fig. 3).

The point being more distant from the maximum-dia circle (great circle) is called pointed end, the one closer to it, obtuse end.

By center of gravity we mean the center of gravity taken in the general physical sense.

It should be noted that in the lying egg the center of gravity sinks to some slight extent below the axis, the distribution of mass not being equable. The yolk gets slightly deeper compared to the axis and the centre of gravity of the yolk is also in the lower (vegetative) part in a way that the warmth of the brooding bird should reach the upper (animal) part (Fig. 4).

By extension (called also *profile, egg index*) we mean length divided by width.

By obtuseness the reciprocal thereof.

As seen from definition, extension is a positive number higher that 1, obtuseness lower than 1; further on, the index formed that way does not inform about either egg size or shell curvature (Fig. 5).

With a view to more exactly characterize the various shape groups, let us study the scheme shown in Fig. 6 based on findings of *Makatsch* (1972).

Naturally, the above typifying does not cover all possible shapes, neither does it mean that eggs of exactly such shape would exist. It gives all in all a model for the investigations. In a particular case adaptability of the obtained result is determined by the rate of likeness.

2.

In the part hereinafter we mean by *force* relatively small forces, that is ones that do not break up the shell.

The main types of motion discussed are:

a) frictional (sliding) motion (change of place);

b) rolling (change of place and position);

c) twirl (change of position).

Further on, we are going to schematically examine – by the esample of a (theoretical) spherical egg – the case of a force acting parallel with the bedding (Fig. 7).

Force $\vec{F}$ divides into 2 components, one of them tending to roll, the other to twirl the egg (should both be hindered, the egg will slide). Disregarding some extreme cases both motions arise, the resultant will be an arched motion whose openness depends on the angle enclosed by attacking force and shell.

Since majority of the birds hatch in closed dens, hatching hollows or in calycular nests, the above type of motion is taking place in a modified way (Fig. 8). That is, even spheroid, round eggs or ones of any shape will not roll off since when getting in motion they tend towards the deepest point of the den (nest).

Importance of the hollowness of the nest or of the special shape of the egg for safe hatching can be assessed e.g. on the case of the Collared Dove *(Streptopelia decaocto)*. Here namely, the common oval egg shape coincides with the flat nest and it is not rare at all that the eggs fall out of the nests on sudden flying up or for some other reason.

3.

Hereinafter I am going to point out that the egg shape types outlined above have particular function. It is namely not a matter of mere chance how a species nests and eggs of what shape it lays.

Let us call point of contact the outward point of the shell surface whereupon the egg remains in a standstill on plane bedding.

The points of such quality form an arc (ensuing from the axis being the median axis). Let us call this circle the circle of contact (Fig. 9).

The question arises: do the great circle (the maximum-radius circular section) and the circle of contact coincide?

The answer is: generally not, except in the rare case when the centre of gravity is located in the plane of the great circle (Fig. 11. *a*).

Let us state the equation of potential energy in function of distance between center of gravity and points of shell surface:

$$E_{pot} = mt(P),$$

static condition will be at the point where the potential energy is minimal:

$$O = \frac{dE_{pot}}{dt(P)} = m\,\frac{dt(P)}{d(P)}$$

This corresponds with the finding that the centre of gravity is located the lowermost possible.

From this it follows that if the centre of gravity, is not in the origin of the great circle it is further down, that is, the axis is not in line (in static condition) with the bedding but encloses some angle with it.

Let us call this angle inclination angle, and the thrust point of axis and basic plane deviation centre (Fig. 9).

Now let us see ther various types in turn.

Ellipsoidal eggs

It is easy to see that in this case the circle of contact and the great circle overlap since the radius of the great circle is exactly the small axis that determines just the points of the shell being the closest to the centre of gravity. Consequences thereof are as follows:

– the axis is parallel with the level bedding;

– a force attacking in the plane of the great circle induces rectilinear rolling motion;

– the closer to the points the force is acting, the higher rate twirl it will bring about (Fig. 10).

From the abovesaid it follows that the static condition of the eggs of such shape is easily upset already on effect of small forces. Also small forces easily roll, twirl the eggs and already a small force diverts them from their course.

What might be the function of this shape? Let us consider which are the birds that have eggs of this not too frequent shape. First of all the grebes *(Podicipitiadae)*. For these birds this egg shape is the most typical and the most explicit. As well known they hatch in "raft" nests built from algae, rotten plant matter. The eggs sink into this bedding, the arising frictional forces are great, consequently it is optimal if the egg is easy to move and turn in view of safe hatching.

The situation is similar in the case of pintails *(Ptreocliadae)* except that here the bedding is the mere sandy soil into which the eggs become pressed in.

For some birds of prey the ellypsis shape of their large-size eggs generally rather few in number also serves for the easier rotation but here filling up of the space is not of primary importance.

Oval eggs

As stated earlier the centre of gravity is located in the plane of the great circle only exceptionally that is only of the plane of the great circle divides them into two parts of equal cubic capacity (Fig. 11). Since it is generally not that way, the axis inclines and on the effect of force a special motion comes about. The force of attack divides into two components also here: one tends to roll, the other point to twirl the egg. The more distant from the point of contact the force attacks, the higher the rate of change of position will be. The resultant displacement will be an arc (Fig. 11, *b*).

The displacement produced corresponds to the turning of a cone round the top that is defined by the centre of turning round as top and the circle of contact as basic circle (Fig. 9). The radius of the described circule can be formulated as follows:

$$R = \sqrt{r_e^2 + r_e^2 \mathrm{ctg}^2\alpha} = r_e\sqrt{1 + \mathrm{ctg}^2\alpha} = \frac{r_e}{\sin\alpha},$$

and the number of revolutions after which it returns to its original position:

$$N = K/k = \frac{2r_e\pi}{\sin\alpha} / 2r_e\pi = \frac{1.}{\sin\alpha}$$

Evidently, the larger the angle of inclination the smaller will be the radius of the described circle, and the lower the number of revolutions before returning to the initial position.

It would only proper to ask whether more obtuse oval eggs move in a smaller arc ?

The answer is generally negative. Namely, if the centre of gravity would remain in an unchanged position it would be true but since as regards more obtuse eggs the centre of gravity and the centre of the circle of contact naturally get closer to the centre of the great circle whereby the inclination of the axis decreases (Fig. 11, *c*). That is the centre of gravity is not located in Q but farther back.

Accordingly, it can be stated that the static condition is readily changed thus the danger of rolling off is great. This however is an advantage since this type mainly occurs in dens, calycular nests: from these the eggs cannot roll off whilst they are easy to turn round. Such eggs generally occur with several others, rub against one another wherefore their easy movability is rather important. This shape has also other advantages in comparison to spherical or ellipsoid eggs, namely:

- better filling in of space (Fig. 12, *a*).
- eggs are easier to cover (Fig. 12, *b*).

Attention should be paid to the role of the calycular shape of the nest.

Eggs of reversed whip-top shape

Main characteristic of this type is to have towards the pointed end a part fitting (or almost fitting) to a shorter or longer surface of cone (Fig. 13).

Let us estimate the position of the centre of gravity as compared to the plane of the great circle. Let us near the egg shape using a semi-globe and a cone. The centre of gravity will be in the origin of the great circle under the following condition:

$$\frac{4r^3\pi}{3} / 2 = \frac{r^2\pi m}{3} \Rightarrow 2r = m.$$

As seen, even in this idealized case it would be that way only if the conoid part were twice as high as the globular. In reality, however, it is otherwise since the globular part is rather flattened, and the conoid rounded. Consequently, the centre of gravity is located beofre the plane of the great circle towards the pointed end (Fig. 13).

In each case when P_E falls between P_A and P_B (in practice it is that way), the state of equilibrium subsists in the same position, the more extended however the egg, the lower down the centre of gravity will be located that is the state of equilibrium will be the more stable.

Since in this case the contact does not occur at one point but along a line, it is advisable to speak of a line of contact or a surface of contact, respectively (Fig. 13). This comes about by turning the line of contact round the axis.

It follows from the aforesaid that the motion caused by shock or impact will not be either twirl (since this is hindered by friction occurring on the line of contact) or rolling off since the occurring sliding is taking place in a small-radius circle. Naturally, should the force of attack act near the pointed end this may rotate the egg round the P_B. This, however, is quicly slowed down due to high rate friction (Fig. 14, *a–b*).

Evidently, in both cases the course of motion coming about is a quite narrow delimited circle that is, on a plane surface rolling off is impossible.

It should be noted that the twirl, that is the turning round shown in Fig. 14 *a* does not take place exactly round the pointed end but round a near-by point, the tip of the imaginary cone of contact. This shape offers protection not only against rolling away but (to a certain extent) against rolling off too.

What kinds of cases may occur on sloping surface?

The position illustrated in point *a)* of Fig. 15:

– the egg is located on the slope with its obtuse end downwards and the centre of gravity takes place between the (horizontal) perpendicular to the base of slope passing through the point of contact and the pointed end. This position is a stable condition of equilibrium. That is, on a low gradient the egg keeps its balance!

The position shown in point *b)* of Fig. 15:

– in this case the pointed end points to the slope. This is an unstable equilibrium, the egg when deflected turns round, then (after some pendular movement) takes up the stable condition of equilibrium as described in point *a)*. That is, it does not roll off in this case either.

Should the slope rise to a greater extent, naturally the case shown in point *c)* of Fig. 15 will come about. Then the centre of gravity takes place between the perpendicular and the obtuse end, thus the balance does not subsist and the egg immediately gets into the position as shown in poin *b)* of Fig. 15, then rolls off by a slightly damped stumbling movement.

Let us draw the conclusions of the phenomena outlined above and examine what function does this shape fulfil and why it occurs just in the species it does.

This type of egg is frequent mainly in birds nesting on rocks, bare plane surfances. It is characteristic especially of species nesting on narrow ledged rocks of bird-mountains. Here the great mass of birds are compelled to make use of all places. Safe hatching of the egg would be endangared or quite impossible should some mechanism not protect the eggs from rolling off on plane or shelving surface. This mechanism is excatly the special shape of the egg as described above.

Let us consider the different-shape egg of the emperor penguin (Aptendytes forstrei) hatching in a particular way. Should the egg fall out of the hatching sac it rolls off and the bird needs much skill and effort to reposit it.

On the other hand, this shape is highly favourable from the aspect of the optimal filling in of space. Eggs of the godwit, plover etc. laid on the ground with their tips converging fill in minimal space in spite of their relatively large size (Fig. 16, *a*).

The third reason is that this type of egg is located with its pointed end pointing downwards whereby optimal covering and warming are ensured (Fig. 16, *b*). The fact that it does not fill in the whole space is of importance for turning to be ensured even with such special type.

It would only be proper to ask if this shape has so many advantages why do birds with oval eggs not lay eggs of such shape?

As seen in Fig. 17 *a)* the oval egg shape meets the requirements of the calycular nest (or den, hatching lair), eggs of whip-top shape do not. Although latter would well fill in the space they would not provide for optimal warming up, on the other hand, they would press together to such an extent that their turning would be difficult or quite impossible (Fig. 17, *b*).

It should be mentioned that sometimes guttiform or pyriform eggs are spoken of in special literature. These grow slightly narrow close to their pointed end. Their separation from the whip-top shaped eggs is rather cumbersome and is no novelty even in principle. Namely, their motion corresponds to that of whip-top shaped eggs. The concepts too are transferable with some modifications. Instead of surface of contact it is the surface of contact as defined by the two circles of contact that should be spoken of (Fig. 18).