

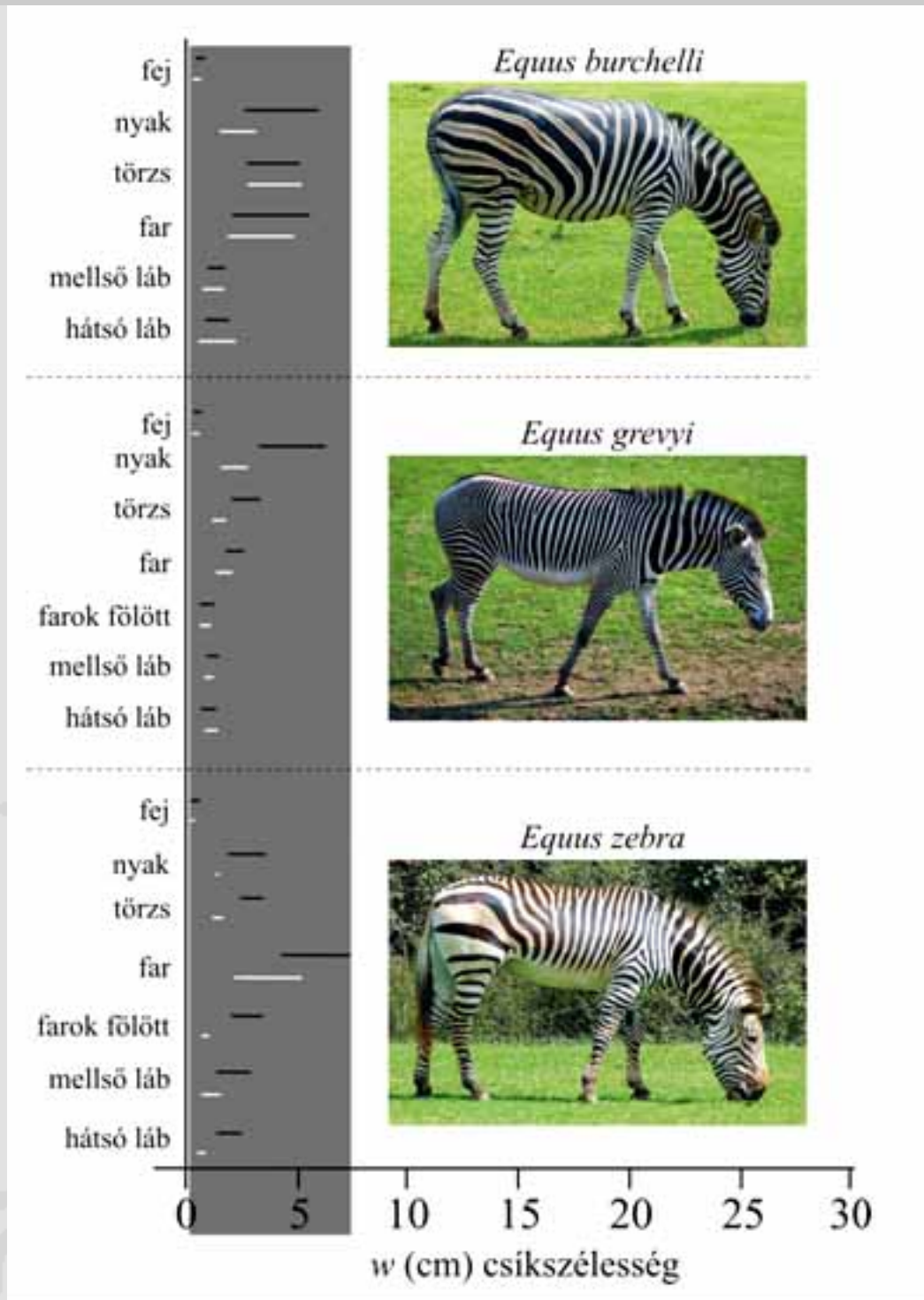
## Miért csíkos a zebra?

**A zebracsíkok védenek a bögölyöktől, avagy a poláros fényszennyezés csökkentésének zebráktól ellesett trükkje**

**Egri Ádám-Horváth Gábor-Kriská György-Farkas Róbert-Susanne Akesson**

---

A zebrák fején, nyakán és törzsén a csíkok nagyjából függőleges lefutásúak, míg megközelítőleg vízszintesek a hátoldalon és a lábakon. A zebrák három faja Közép- és Dél-Afrikában él (**1. ábra**). A leggyakoribb az alföldi zebra (*Equus burchelli*, 12 alfajjal), amely Afrika déli és keleti részén egyaránt elterjedt. Az állat farán mindkét oldalon 26 széles csík látható, melyek közül néhány a has irányába elhajlik. A legtermetesebb faj a Grévy-zebra (*E. grevyi*), amelynek mindkét oldalán közel 80, a test hossz tengelyére merőleges lefutású csík van. A Grévy-zebra Etiópia és Kenya nyugati részének félsivatagos füvespusztáin él. A harmadik faj a hegyi zebra (*E. zebra*), amelynek két alfaja él Afrika dél-nyugati részén. A hegyi zebra hasa fehér és mindkét oldalán 55 csík található, amelyek közül három vízszintesen fut a hátsó combokon. Az 1800-as évek végén kipusztult kvaggának (*E. quagga*) volt még részben csíkozott kültakarója, ami a legkifejezettebben a fejen, nyakon és a test elülső részén alakult ki, míg a hátulsó testfél és a hátsó lábak sötétbarnák voltak.



1. ábra. A három recens zebrafaj (*Equus burchelli*, *E. grevyi*, *E. zebra*) képe, valamint a különböző testrészeken (fej, nyak, törzs, far, farok fölött, mellső láb, hátsó láb) mért fekete, illetve fehér csíkok  $w$  szélességének átlagai és szórásai. A függőleges szürke oszlop (átlag minimuma – szórás = 0,23 cm <  $w$  < 7,47 cm = átlag maximuma + szórás) a zebra csíkvastagságának tartományát öleli át. A vízszintes fekete és fehér vonalak középpontja a csíkszélesség átlagának felel meg, a végpontok pedig az átlag  $\pm$  szórás értékeinek

A zebra csíkos mintázatának szerepe régóta vitatott kérdés. Wallace [1] azt

föltételezte, hogy a csíkoknak a magas fűben való rejtőzködésben van szerepe. Charles Darwin [2] bírálta e magyarázatot, mivel a zebrák nem a növényzettel sűrűn benőtt területeken élnek, hanem inkább a nyílt szavannákon, ahol alacsony a fű. Számos további elmélet [3, 4] látott még napvilágot arra vonatkozóan, hogy milyen funkciói és esetleges evolúciós előnyei lehetnek a zebrák fekete-fehér csíkos mintázatának:

– Látszólagos méretnövekedés. A csíkok, egy vizuális illúzió révén, nagyobbak láttathatják a zebrát a valóságos méreténél, ami előnyt jelenthet a ragadozókkal szembeni védekezés során.

– Láthatóság csökkenése gyér fényviszonyoknál. Gyengébb megvilágítási körülmények között (alkonyatkor, hajnalban, holdfényben) a csíkok megnehezíthetik, hogy a zebrákat a ragadozók fölismerjék.

– A mozgó csíkok látványa elkápráztathatja a ragadozókat. A csordában menekülő zebrák ide-oda mozgó csíkjai megnehezíthetik a ragadozók számára a zebraegyedek elkülönítését.

– Rejtőzködés. A csíkos kültakaró lehetővé teheti a zebráknak, hogy észrevétlenek maradjanak természetes környezetükben a test határvonalának nehezebb fölismerhetősége miatt. Az egyébként nem csíkos mintázatú patás fajok többségénél a sebezhetőbb fiatal és a kifejlett nőstény egyedeknél is megfigyelhető a hatékonyabb álcázást biztosító csíkos testmintázat.

– Szociális előnyök. Mivel a csíkos kültakaró egyedi jellegzetességeket mutat, mint az emberi ujjlenyomat, a zebrák esetleg azonosítani tudják egymást a testmintázatuk alapján. E képesség különösen fontos lehet az anyaállat és csikójának kapcsolattartásában, vagy udvarláskor a hímek és nőstények közti kommunikációban.

– A fizikai állapot jelzése. A sebesülések, sérülések vagy valamilyen kóros elváltozás miatt kialakuló szabálytalanságok a csíkos mintázatban vizuálisan jelezhetik az egyed leromlottabb fizikai állapotát (fitneszét), ami hatással lehet a párválasztásra.

– Hőszabályozás. A bőr alatti zsírszövet és a fekete csíkok elhelyezkedése összhangban áll egymással, miáltal e zsírszövetcsíkok egyfajta hőtároló szervként működhetnek, ami szerepet játszhat a test hőszabályzásában. Másrészt, a fekete és a fehér csíkok eltérő mértékű fölmelegedése miatt a kültakaró fölött apró föl- és leszálló légáramok alakulhatnak ki, melyek fokozhatják a hőleadást.

– Védelem a cecelegyek ellen. Egyes megfigyelések szerint a zebrákat kevésbé támadják a vérszívó cecelegyek, mint más egyszínű patás állatokat. A cecelegyek vérszívásukkal súlyos betegségek, többek között az afrikai álomkór kórokozóit terjesztik.

Ruxton [3] és Caro [4] arra a következtetésre jutottak, hogy e hipotézisek többségét semmiféle kísérleti adat nem támasztja alá, miáltal még ma sem tudjuk, hogy miért alakult ki a zebrák csíkos mintázata. Mindazonáltal, a legelfogadottabb magyarázat szerint a csíkok védhetnek a cecelegyek ellen [5].

## Bögölyök és lovak

A nőstény bögölyöknek petéik érleléséhez emlősök vérére van szükségük. Vérszívásukkal **(2. ábra)** számos veszélyes kórokozó hordozói és terjesztői, emellett vérvesztést okoznak, fájdalmas csípésükkel pedig zaklatják a legelő lovakat és szarvasmarhákat, ami jelentős gazdasági kárral (lassabb testtömeg-gyarapodással, csökkent tejtermeléssel) jár. Attól függően, hogy a különböző bögölyfajoknak milyen a földrajzi eloszlása Afrika-szerte, e vérszívó legyek súlyos állategészségügyi problémákat jelenthetnek a zebráknak is.



**2. ábra. Barna ló vérét szívó nőstény bögöly (b) és a kibuggyanó vérből lakmározó más legyek (l)**

A bögölyfajok vizek közelében rakják le petecsomóikat, lárváik vízben vagy nedves talajban fejlődnek. Emiatt a kifejlett nőstények és hímek vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez, mert a vízről visszaverődő ilyen fény alapján találják meg a vizet [6]. A bögölyök pozitív polarotaxisának öt fontos funkciója

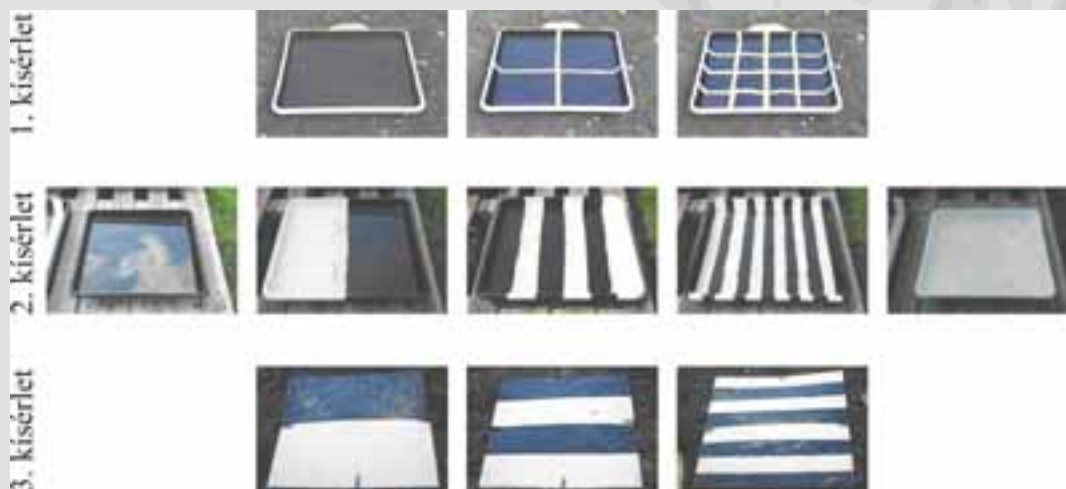
van. (i) A nőtények számára kijelöli a jó peterakó helyet, ahol a lárvák a vízbe juthatnak. (ii) Nagyobb eséllyel találnak a nőtények gazdaállatot, hiszen a társas növényevők gyakran megtalálhatók az édesvizek mellett, ahol isznak, vagy fürdenek. (iii) Útmutató a nőtények és a hímek számára a vízlelőhelyek felé, ahol ihatnak és hűthetik magukat. (iv) Mindkét nemet olyan helyre irányítja, ahol nagy valószínűséggel egymásra találnak és párosodhatnak. (v) A bögölyök kevésbé vonzódik a fehér, mint a sötét (fekete, barna) szőrű emlősökhöz, továbbá a szőrzetről visszaverődő fény polarizációja is segíti őket a gazdaállat megtalálásában [7].

A zebracsíkos kültakaró átmenet az egyszínű fekete és fehér között, ezért azt vártuk, hogy a zebrák bögölyvonzó-képessége a fehér és fekete lovaké közé esik. Ezt több terepkísérletben tanulmányoztuk.

### Terepkísérletek zebracsíkos mintázatok bögölyvonzásának vizsgálatára

Az 1. kísérletben egy szokolyai lovas tanya közelében három, étolajjal töltött, fehér peremű fekete tálcát helyeztünk a földre, melyekből több héten keresztül, naponta begyűjtöttük a csapdázott bögölyöket. Az egyik tálca teljesen fekete volt, a másikon és harmadikon 2, illetve 6 fehér csík egymásra merőlegesen **(3. ábra, 1. sor)**. A tálcák sorrendjét naponta véletlenszerűen változtattuk. Mivel a különböző számú fehér csíkokkal ellátott tálcák fekete összfelülete kissé eltérő volt, ezért a bögölyökre kifejtett vonzóképeség vizsgálatakor a csapdázott bögölyöknek az egységnyi fekete (a fényt erősen és vízszintesen polarizáló) csapdafelületre eső számát hasonlítottuk össze.

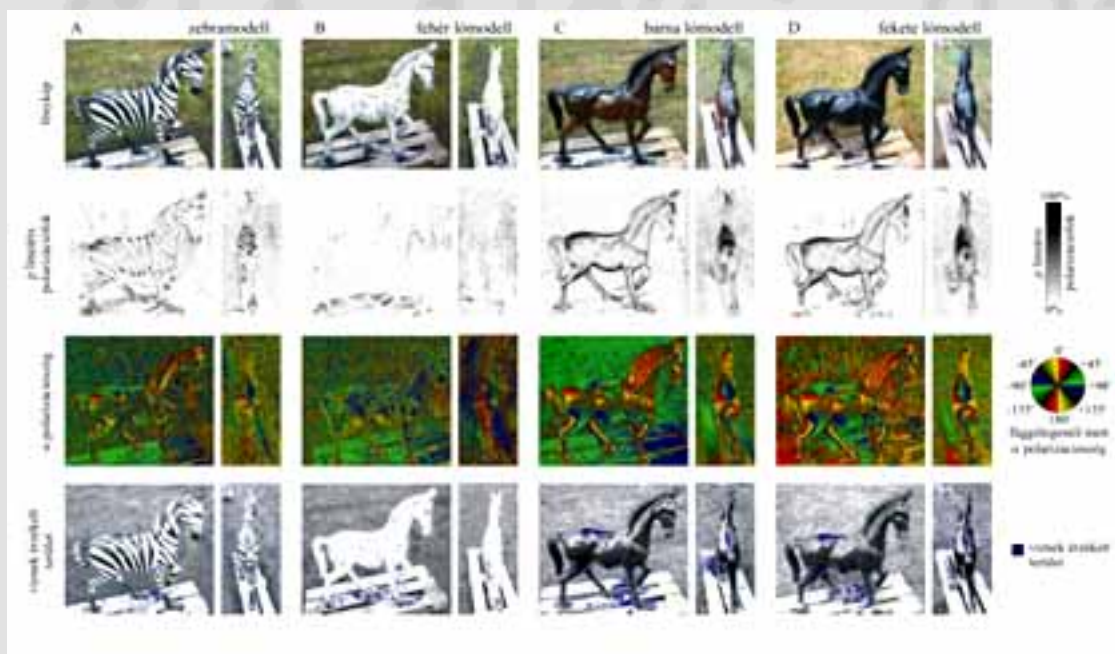
A 2. kísérletben egy gödi lovas tanyán két hónapon át öt, étolajjal teli tálcát hagytunk a földön, néhány naponta változó sorrendben **(3. ábra, 2. sor)**: egy fekete és egy fehér tálca, valamint három másik, kétszer akkora felületű tálca 1–1, 3–3, illetve 6–6 darab fekete-fehér párhuzamos csíkkal, azonos nagyságú fehér és fekete összfelülettel. Itt is rendszeres időközönként begyűjtöttük a csapdázott bögölyöket.



**3. ábra. Az 1., 2. és 3. terepkísérletben használt fekete-fehér csíkos vízszintes csapdafelületek. Az 1. és 2. kísérletben étolajjal voltak töltve a tálcák, míg a 3. kísérletben átlátszó, szintelen ragacsos anyag fedte a tesztfelületeket**

A 3. kísérletben az említett szokolyai lovas tanya mellett egy hónapig volt a földön naponta véletlenszerűen változó sorrendben három azonos nagyságú, fekete-fehér csíkos tesztfelület, melyeket átlátszó, szintelen, szagtalan, eső- és napfényálló ragaccsal kentünk be. Az 50–50%-ban fekete és fehér felületeken 1–1, 2–2, illetve 4–4 volt a fekete-fehér csíkok száma (**3. ábra, 3. sor**).

A 4. kísérletben a szokolyai lovas tanya közelében két hónapig volt véletlenszerűen változó sorrendben fölállítva egy barna, egy fekete, egy fehér és egy fekete-fehér zebracsíkos lómodell (**4. ábra**), melyek felületét az említett ragaccsal kentük be néhány naponta. A ragacsos felületeken talált bögölyöket kétnaponta összeszámoltuk és eltávolítottuk.



**4. ábra. 1-3. sor: A 4. kísérletben használt zebracsíkos (A), fehér (B), barna (C), és fekete (D) ragacsos felületű lómodellek fényképei, valamint a róluk visszaverődő fény p lineáris polarizációfokának és függőlegestől mért a polarizációs szögének mintázatai oldalról és hátulról a spektrum kék (450 nm) tartományában képalkotó polarimetriával mérve. 4. sor: A polarotaktikus bögölyök által víznek érzékelt területek (kékekkel színezve), melyekről a visszavert fény jellemzői:  $10\% < p < 100\%$ ,  $80^\circ < a < 100^\circ$ . A lómodelleket közvetlen napfény érte, a polariméter optikai tengelye pedig  $-20^\circ$ -os szöget zárt be a vízszintessel**

A budapesti és a stockholmi természettudományi múzeumokban őrzött számos zebrabőr és kitömött zebra (*Equus burchelli*, *E. grevyi*, *E. zebra*) különböző testtájain (fej, nyak, törzs, far, farok fölött, mellső láb, hátsó láb), ahol viszonylag egyenletesek a csíkok, hosszabb-rövidebb egyenesek mentén mértük a fekete és fehér csíkok szélességének átlagát és szórását.

A terepkiérletekben használt különféle tesztfelületek és lómodellek fénypolarizáló-képességét (4. ábra) képalkotó polarimetriával mértük a spektrum vörös, zöld és kék tartományában. Ugyancsak mértük a Magyar Természettudományi Múzeum egy kitömött zebrája (*E. burchelli*) tesztfelületének polarizációs mintázatait. A mérési adatok fölhasználásával meghatároztuk a tesztfelületek és lómodellek azon részeit, melyeket a polarotaktikus bögölyök vízként érzékelnek. Az ilyen felületek egy fajspecifikus  $p^*$  küszöbértéknél nagyobb  $p$  ( $> p^*$ ) polarizációfokú fényt vernek vissza, melynek rezgéssíkja egy  $\Delta\alpha$  küszöbértéknél kisebb mértékben tér el a vízszintestől. Korábbi méréseink alapján  $p^* = 10\%$  és  $\Delta\alpha = 10^\circ$  küszöbértékeket alkalmaztunk, melyek pontos értéke azonban nem befolyásolta a végkövetkeztetéseinket.

### **A csíkossabb mintázat kevesebb bögölyt vonz**

Az 1. kísérletben (3. ábra, 1. sor) azt tapasztaltuk, hogy minél sűrűbb volt a fehér színű rács az étolajjal töltött fehér keretes fekete tálcán, annál kevesebb bögölyt vonzott. A fehér keretes rács nélküli fekete tálcák szignifikánsan nagyobb hányadát (53,1%) fogta meg a bögölyöknek, mint a 2, illetve 6 egymásra merőleges fehér csíkot viselő tálcák (39,8%, illetve 7,1%). A csapdázott bögölyök felületi sűrűsége 1167,3; 955,6 és 206,3 darab/m<sup>2</sup> volt a rács nélküli, és a 2, illetve 6 fehér merőleges csíkkal borított tálcáknál. A fehér csíkok polarizálatlan fényt vertek vissza, míg a tálcák fekete tartományai erősen vízszintesen polárosak, ami nagyon vonzó a polarotaktikus bögölyök számára. E kísérlet azt demonstrálta, hogy a vízszintesen poláros fényt visszaverő fekete felületek egyre kevésbé vonzóak a bögölyöknek, ha a depolarizáló fehér csíkok száma nő.

A 2. kísérletben (3. ábra, 2. sor) az étolajjal töltött fehér és fekete tálcák voltak a legkevésbé, illetve leginkább vonzóak a bögölyöknek, rendre 3 és 145 megfogott egyeddel. Minél kisebb volt a fekete/fehér csíkok száma, annál több bögöly esett csapdába: a 12, 6, illetve 2 csíkos tálcák rendre 24, 66, illetve 138 bögölyt fogott. A tálcák fekete csíkjai erősen és vízszintesen poláros fényt vertek vissza, ami a polarotaktikus bögölyöket vonzotta. Másrészt, a fehér csíkok nem voltak vonzóak, mert nagyon alacsony ( $p < 5\%$ ) polarizációfokú, és nem mindig vízszintesen poláros fényt vertek vissza.

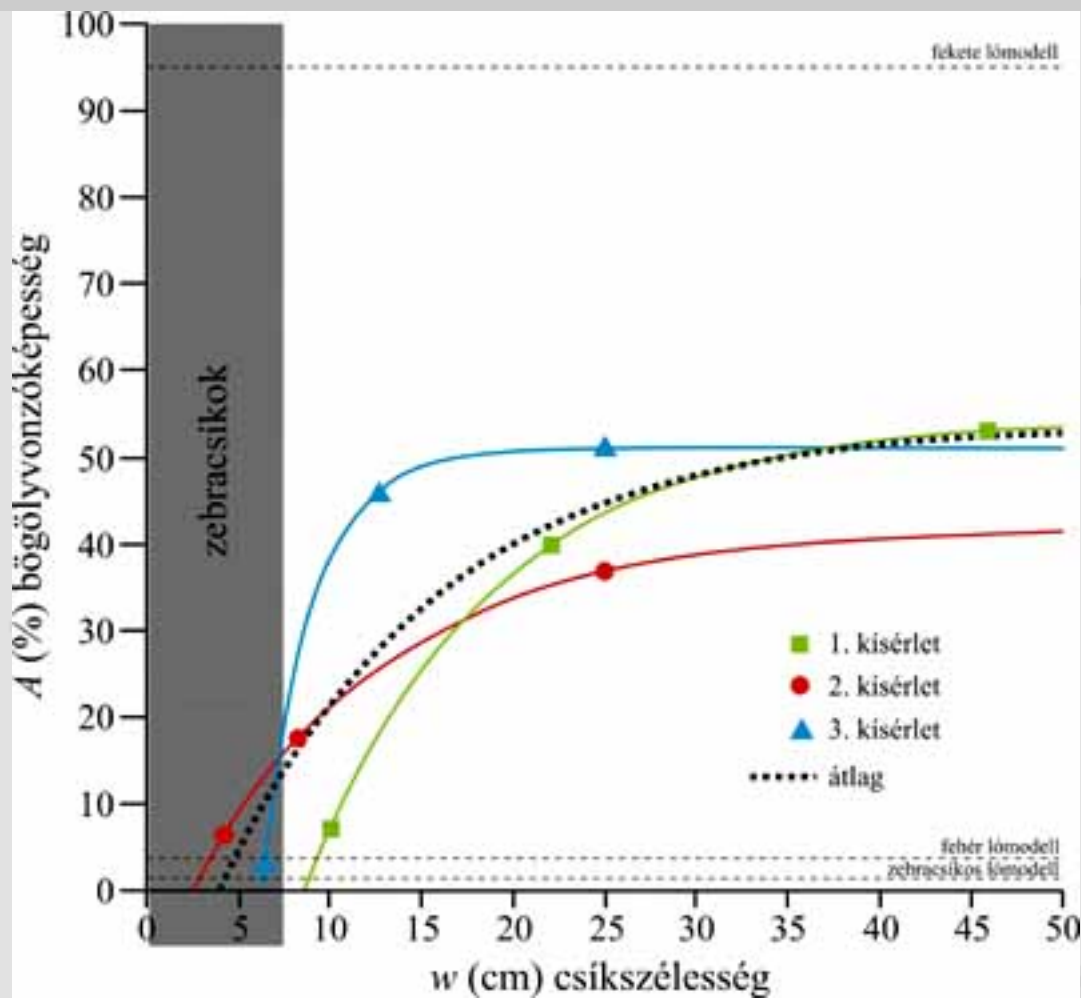
A 3. kísérletben (3. ábra, 3. sor) a 2-csíkos ragadós tesztfelület vonzotta a legtöbb bögölyt ( $N = 321$ ), a 4-csíkos felület kevésbé volt vonzó ( $N = 290$ ),

míg a 8-csíkos volt a legkevésbé vonzó ( $N = 19$ ). A ragadóságnak köszönhetően a leszálló bögölyök azonnal hozzáragadtak a tesztfelületekhez, így a landolás után már nem mozdulhattak el. Az erősen és vízszintesen polarizáló fényes fekete csíkok 3-szor (8-csíkos tesztfelület), 3,5-szer (4-csíkos tesztfelület), illetve 5-ször (2-csíkos tesztfelület) több bögölyt vonzottak magukhoz, mint a gyengén, és nem mindig vízszintesen polarizáló fényes fehér csíkok.

A 4. kísérletben (4. ábra) a fekete ( $N = 562$ ) és a barna ( $N = 334$ ) lómakett volt a leginkább vonzó a bögölyök számára, a fehér sokkal kevésbé ( $N = 22$ ), és meglepő módon a legkevésbé a fekete-fehér csíkos zebramodell vonzotta a bögölyöket ( $N = 8$ ). A fekete és barna lómodell erősen poláros fényt tükrözött ( $p > 80\%$ ), míg a fehér lómodell gyakorlatilag polarizálatlan ( $p$  kb.  $0\%$ ) fényt vert vissza (4. ábra). A zebramodell fekete és fehér csíkjairól visszaverődő fény polarizációfoka nagy ( $p > 80\%$ ), illetve kicsi ( $p$  kb.  $0\%$ ) volt. Oldalról és hátulról nézve, a fekete és barna lómodell háta utánozta leginkább a vizet a polarizáció révén (4. ábra, 4. sor). Így e tartományok voltak nagyon vonzók a polarotaktikus bögölyöknek. A fehér lómodellnél nem volt ilyen polarizációs vonzó felület, míg a zebramodell hátán csak a fekete csíkok polarizálták erősen a fényt. E polarizációs mintázatok részben magyarázzák a 4. kísérletben szereplő lómodellek bögölyvonzó-képességét.

Méréseink szerint egy valódi, kitömött zebra (*E. burchelli*) polarizációs mintázatai gyakorlatilag megegyeztek a 4. kísérletben használt zebramodellével. A fényviszonyoktól, a testtartástól és a Naphoz viszonyított nézőponttól függően, a fekete csíkok a zebrák hátán erősen és vízszintesen poláros fényt vernek vissza, ami vonzó lenne a polarotaktikus bögölyöknek, ha e fekete csíkok nem lennének elválasztva depolarizáló fehér csíkokkal.





5. ábra. A terepkísérleteinkben használt zebracsíkos tesztfelületek A (%) bögölyvonzó-képessége a fekete-fehér csíkok w (cm) szélességének függvényében. A folytonos exponenciális görbék az 1., 2. és 3. kísérletben mért három eltérő  $A_n(w_n)$ , ( $n = 1, 2, 3$ ) átlagértékre

illeszkednek, míg a pontozott exponenciális görbe a 9 egyesített mérési pontra van illesztve. A három vízszintes szaggatott egyenes vonal a 4. kísérletbeli fekete, fehér és zebracsíkos lómodellek átlagos bögölyvonzó-képességét mutatja. A függőleges szürke oszlop (átlag minimuma – szórás =  $0,23 \text{ cm} < w < 7,47 \text{ cm} =$  átlag maximuma + szórás) a zebrák csíkvastagságának mért tartományát öleli át

Az 5. ábra foglalja össze a négy terepkísérletünkben használt zebracsíkos tesztfelületek mért A vonzóképességét a fekete-fehér csíkok w szélességének függvényében. Az  $A(w)$  vonzóképességek bögölyökre nézve monoton csökkennek, ahogy a w csíkvastagság csökken, s e csökkenés mértéke egyre rohamosabb  $w < 15 \text{ cm}$  esetén. Az 5. ábrán az átlagolt pontozott vonalú görbe szerint a vízszintes zebracsíkos felület elveszíti bögölyvonzó-képességét ( $A = 0$ )  $0 \text{ cm} \leq w \leq 4,5 \text{ cm}$  csíkvastagságok mellett. A leginkább figyelemre méltó, hogy az *Equus burchelli*, az *E. grevyi* és az *E. zebra* zebrafajok átlagos csíkvastagságai ( $0.23 \text{ cm} < w < 7.47 \text{ cm}$ ,

mely tartományt az 5. ábrán a függőleges sűrke sáv szemlélteti) alig lépik túl e “bögölymentes tartományt”. Ez az oka a 4. kísérletben a zebramodell igen csekély bögölyvonzó-képességének.



**6. ábra. E karikatúra azon fölfedezésünket szemlélteti, hogy a zebracsíkos mintázat taszítja a polarotaktikus bögölyöket**

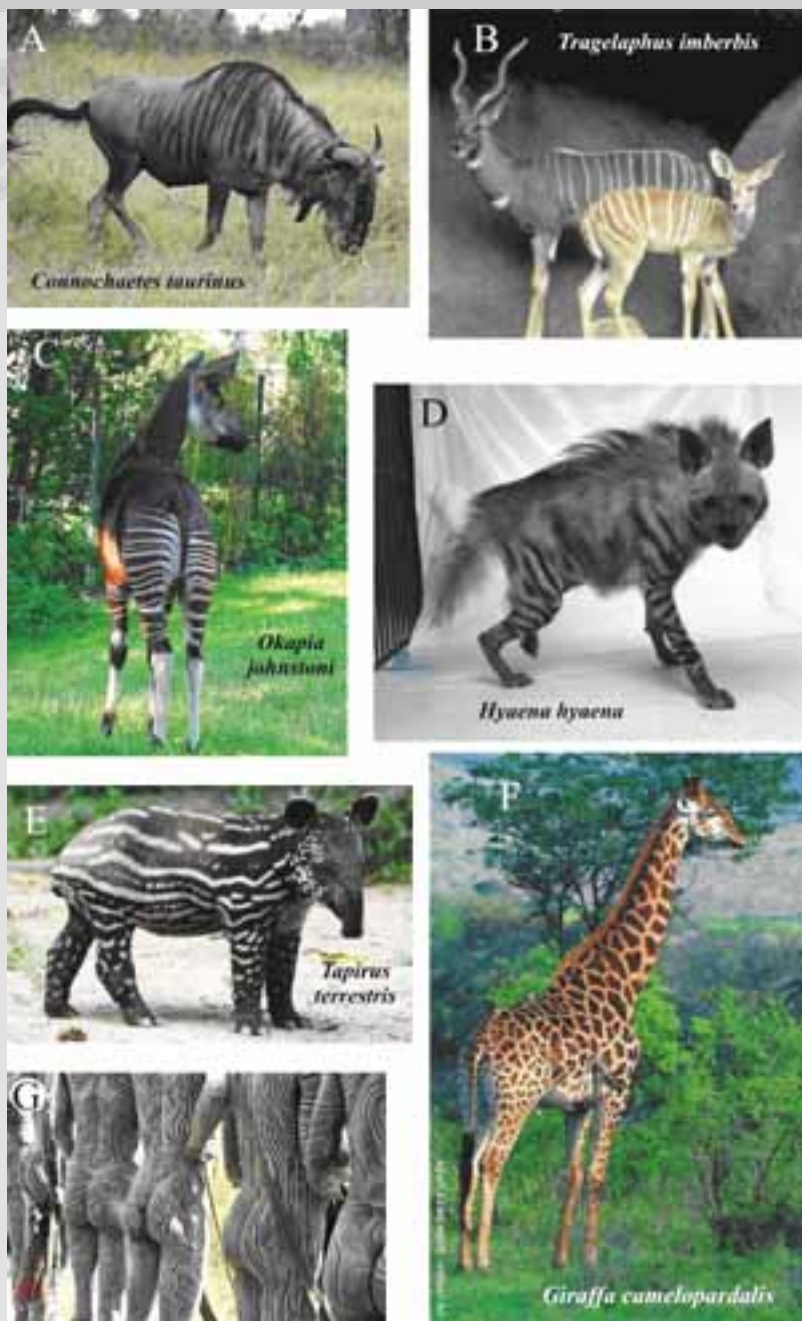
Arra a következtetésre jutottunk tehát, hogy a zebrák fekete-fehér csíkjai megfelelően keskenyek ahhoz, hogy minimalizálják a bögölyökre kifejtett vonzást. A **6. ábra** karikatúrája e végkövetkeztetést szemlélteti.

**A csíkos mintázat bizonyított előnye**

Mindhárom zebrafajnak a fején és a lábain legkeskenyebbek a csíkok (1. ábra), ahol a csíkszélesség annyira kicsi, hogy már gyakorlatilag nem is vonzza a bögölyöket (5. ábra). E jelenség az evolúciós alkalmazkodás egyik szép példája. Számos érzékszerv a fejen található (szemek, fül, nyelv, orr, száj), melyek kifogástalan működése elengedhetetlen a zebrák túléléséhez. A lábaknak is a lehető legjobb állapotban kell lenniük, hiszen csak így tudnak elmenekülni a zebrák a ragadozóktól. Ezek miatt a fejet és a lábakat kell legjobban védeni a vérszívó rovaroktól (például a bögölyöktől és a cecelegyektől), mert ezek bármelyikének sérülése nagyban rontja a zebrák túlélési esélyeit. Továbbá, a fejen és a lábakon vékonyabb a bőr, miáltal a

vérszívó rovarok számára könnyebben hozzáférhetőek a vérerek, ezért itt fokozottabb „csíkos védelemre” van szükség, mint a többi testrészben. A sűrű csíkmintázat a zebrák fején és lábain tehát egyfajta vizuális alapon működő védőrendszernek tekinthető.

A csíkos, foltos és pöttyös barna/fekete kültakaró meglehetősen elterjedt az afrikai emlősök körében (**7. A–E ábra**), melyek a fajgazdag afrikai bögölyfauna gazdaállatai. E csíkos-foltos-pöttyös mintázatok is taszíthatják a vérszívó cecelegyeket és bögölyöket, ami nagy szelekciós előnnyel bír. A zsiráfok (*Giraffa camelopardalis*) is gazdaállatai a cecelegyeknek és bögölyöknek. A zsiráfok kültakaróján sötét alapon világos sávok alakítanak ki egy jellegzetes rácsmintázatot (**7F ábra**), melyek hasonlóak az 1. kísérletünkben használt tesztfelületekhez (*3. ábra, 1. sor*). Amint kimutattuk, az ilyen rácsmintázat is jelentősen csökkenti a felület bögölyvonzó-képességét. Így a zsiráf rácsszerű mintázata, más gazdaállatok csíkos-foltos mintázataihoz hasonlóan, a ”bögölytaszító” zebracsíkok hatékony alternatívája.



**7. ábra. A bögölyök gazdaállatai közé tartozó néhány csíkos afrikai emlősfaj. (A) Csíkos gnu (*Connochaetes taurinus*). (B) Felnőtt (hátról) és fiatal (előlről) Lesser kudu (*Tragelaphus imberbis*). (C) Okapi (*Okapia johnstoni*). (D) Csíkos hiéna (*Hyaena hyaena*). (E) Csíkos-pöttyös fiatal tapír (*Tapirus terrestris*). (F) Zsiráf (*Giraffa camelopardalis*). (G) Egy afrikai törzs jellegzetes csíkos testfestési mintázatai**

Nem elképzelhetetlen, hogy az afrikai őslakosok jellegzetes sötét-világos csíkos-pöttyös-rácsos testfestésének (7. G ábra) is lehet némi szerepe a veszélyes vérszívó élősködők (például cecelegyek, bögölyök) elleni védelemben. E törzs-, nem- és korfüggő testfestési mintázatokat talán az afrikai emlősök kültakarójának a vérszívó legyek ellen védő csíkos-foltos-pöttyös mintázatai ihlették. E testfestés bizonyára spirituális, kulturális

eredetű, de minden bizonnyal megvan az a hasznos mellékhatása is, hogy többé-kevésbé véd a vérszívó legyek ellen, amint a hasonló mintázatú zebrák és más emlősök esetén is **(7. A–F ábra)**.

### **A poláros fényszennyezés csökkentésének zebráktól elleshető trükkje**

Érdekes párhuzam húzódik a zebrák bögölyálló csíkmintázata, valamint az aszfaltutak [8] és napelemtáblák [9] poláros fényszennyezésének egyik csökkentési módja között. Az ember alkotta tárgyak némelyike olyan intenzív vízszintesen poláros fényt verhet vissza, hogy "szuper víznek" tűnhet a szállva vizet kereső vízirovarok számára, melyek a vizes petéző- és élőhelyüket a vízfelületről tükröződő vízszintesen poláros fény segítségével találják meg. A poláros fény ilyen természetellenesen szupernormális forrásai poláros ökológiai csapdákként működhetnek, amennyiben vizet utánozva a megtévesztett és magukhoz vonzott polarotaktikus vízirovarok rájuk rakják a petéiket, amelyek menthetetlenül elpusztulnak. E jelenséget nevezzük poláros fényszennyezésnek [10]. Mivel az ilyen ökológiai csapdák az érintett rovarpopulációk gyors csökkenéséhez vagy akár összeomlásához vezethetnek, ezért a napjainkban fölismert poláros fényszennyezés csökkentése vagy kiküszöbölése a poláros fényszennyező források rohamos elterjedése miatt a környezetvédelem egyik egyre fontosabb feladata.

Kimutattuk, hogy például a sötétszürke vagy fekete aszfaltutak [8], valamint a csillogó fekete napelemtáblák és napkollektorok [9] erős poláros fényszennyező források. Megfigyeltük és kísérletileg igazoltuk, hogy polarotaktikus kérészek, tegzesek, szúnyoglábu legyek és bögölyök sokkal jobban vonzódnak a napelemtáblákhoz és napkollektorokhoz s petéznek rájuk, mint a kisebb polarizációfokú fényt visszaverő felületekhez, továbbá elkerülik azon fehér keretes napelemtáblákat, amelyek felületét egy megfelelően sűrű, nem-polarizáló, fehér rács borítja. Fölfedeztük, hogy ha egy erősen és vízszintesen polarizáló fekete felületet egy vékony csíkokból álló fehér rácsmintázattal megfelelően apró cellákra osztunk, akkor a polarotaktikus rovarokra kifejtett vonzóképesége akár 1/30-adára is csökkenhet. E szabadalmaztatás alatt álló módszerrel tehát jelentősen csökkenthető a korábban teljesen környezetbarátnak tekintett napelemtáblák és napkollektorok poláros fényszennyezése. Hasonló módszerrel csökkenthető, illetve küszöbölhető ki az aszfaltutak poláros fényszennyezése [8]. Ha az aszfaltfelületekre alkalmas sűrűségű és vastagságú fehér csíkokat festenek, akkor már nem vonzzák a polarotaktikus rovarokat. Ez különösen fontos a veszélyeztetett vízirovarfajok menedékhelyéül szolgáló, szigorúan védendő vizes élőhelyek (tavak, folyók, mocsarak) mellett húzódó aszfaltutaknál.

A megfelelő sűrűségű fehér rácsok és csíkok tehát megakadályozzák a polarotaktikus vízirovaroknak a fényt erősen és vízszintesen polarizáló fekete mesterséges felületekhez való vonzódását és csapdába esését. Figyelemre méltó módon a zebrák lényegében ugyanezt az optikai/vizuális trükköt

fejlesztették ki az evolúció során: a zebrák a fekete testfelületükön fehér csíkokkal biztosítják, hogy a cecelegyek és a polarotaktikus bögölyök ne vonzódjanak hozzájuk.

**Köszönetnyilvánítás: Kutatásainkat az Európai Unió (Eu-FP7, TabaNOid-232366: Trap for the novel control of horse-flies on open-air fields) és az OTKA (K-6846: Közvetlen és közvetett polarotaxis vizsgálata tegzeseknél és kétszárnyúaknál) is támogatja. Köszönjük Dr. Csorba Gábor főmuzeológusnak, hogy a Magyar Természettudományi Múzeum Emlős Gyűjteményében megmérhettük a zebrák csíkszélességét.**

## Irodalom

- [1] Wallace, A. R. (1867) Mimicry, and other protective resemblances among animals. Westminster Review, p. 5
- [2] Darwin, C. R. (1871) The descent of man, and selection in relation to sex. vol. 2, p. 302, John Murray, London
- [3] Ruxton, G. D. (2002) The possible fitness benefits of striped coat coloration for zebra. Mammal Review 32: 237-244
- [4] Caro, T. (2009) Contrasting coloration in terrestrial mammals. Philosophical Transactions of The Royal Society B 364: 537-548
- [5] Waage, J. K. (1981) How the zebra got its stripes - biting flies as selective agents in the evolution of zebra coloration. Journal of the Entomological Society of South Africa 44: 351-358
- [6] Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G. (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. Naturwissenschaften 95: 1093-1100
- [7] Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Gerics, B.; Farkas, R.; ? kesson, S. (2010) An unexpected advantage of whiteness in horses: The most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. Proceedings of the Royal Society of London B 277: 1643-1650
- [8] Kriska, G.; Horváth, G.; Andrikovics, S. (1998) Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. Journal of Experimental Biology 201: 2273-2286
- [9] Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. Conservation Biology (in press)
- [10] Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. Frontiers in Ecology and the Environment 7: 317-325

