VAN-E LÉGÖRVÉNYSOR A ZEBRACSÍKOK FÖLÖTT?

A zebrák léghűtőjének kísérleti cáfolata

Tudósok régóta vitatkoznak a zebracsíkok lehetséges biológiai szerepeiről. Az egyik hipotézis szerint, napsütésben a zebracsíkok fölött periodikus konvektív légörvények keletkeznek, amelyek hűtik a testet. Azonban ilyen föl-leáramlásokból álló örvénysor kialakulásának lehetőségét még nem vizsgálták kísérletileg. Laboratóriumi Schlieren-képalkotással azt találtuk, hogy a napfényt utánzó erős fénnyel megvilágított sima vagy szőrös csíkos felületek fehér csíkjai fölött nem formálódnak lefelé irányuló légáramlások a feltételezett örvénysor részeiként. A csíkok hatása a légáramlások formálódására feláramlások elősegítése és azok vízszintes sodródásának gátlása formájában a felület fölött néhány cm-nél magasabban már elhanyagolható. Habár szélcsendben a napsütötte zebracsíkok fölött feláramlások alakulnak ki, azokat a leggyengébb szél is elfújja, vagy akár a zebra leglassúbb mozgásakor ébredő ellenszellő is szétrombolja. E kísérleti eredmények cáfolják a hűtő hatású légörvénysorról szóló feltételezést.

A hűtő hatás hipotézise

Napsütötte zebrák infravörös fényképein a fekete csíkok melegebbek a fehéreknél, az utóbbiak kisebb fényelnyelése okán, és a hőmérsékletkülönbségük a léghőmérséklettel együtt nő, míg éjjel a fekete csíkok hidegebbek a fehéreknél az előbbiek erősebb kisugárzása miatt. Napsütésben a fekete csíkok fölött felszálló meleg légáramlások alakulhatnak ki, amelyeket oldalról a hidegebb fehér csíkok fölött leszálló hűvösebb levegő pótolhat, legalábbis az elterjedt hipotézis szerint (**1A ábra**). Elvileg ezen állítólagos konvektív légörvények hűtő hatásúak lehetnek azáltal, hogy a meleg levegőt elvezetik a melegebb fekete csíkokról. E légkonvekció gyorsíthatja továbbá a zebrabőr izzadságának párolgását is, ami szintén hűti a zebrát. Lényegében két ellentétes vélemény viaskodik már évtizedek óta a zebrák szóban forgó feltételezett hőszabályzásáról, vagyis a hátoldali csíkok általi léghűtésről:

Néhány szkeptikus kutató olyan elméleti érveket és/vagy kísérleti adatokat közölt, amelyek nem támogatják a zebracsík általi hipotetikus hűtő hatást: Caro [1] infrakamerás mérései szerint a napsütötte zebrák testfelszíni hőmérséklete nem alacsonyabb a mellettük élő olyan napsütötte növényevőkénél, mint például a zsiráfok, impalák és bivalyok. Ugyancsak ő vélte, hogy a terepen nappal szinte örökké fújó szél könnyen szétrombolhatja a napsütötte zebrák fölötti esetleges konvektív légörvénysort. Ráadásul, ha szélcsendben ilyen örvénysor ki is alakulna egy nyugalomban álló zebra fölött, az gyorsan szétesne, amikor az állat elkezd mozogni legeléskor vagy futáskor.

Horváth és társai [2] kísérletileg cáfolták a zebracsíkok általi hűtést. Egy nyári termodinamikai terepkísérletben a zebratestet vízzel töltött fém hordókkal modellezték, amelyeket homogén fekete, szürke vagy fehér, illetve fekete-fehér csíkos ló-, szarvasmarha- és zebrabőrrel vonták be. E hordók három hónapig voltak szabad ég alatt, miközben a vizük maghőmérsékletét folyamatosan mérték. A csíkos ló-,hordók és a velük hasonló átlagszürkeségű hordók maghőmérsékletei között nem volt szignifikáns különbség még a legforróbb nyári napokon sem, függetlenül a léghőmérséklettől és szélsebességtől. E kísérleti eredmény szerint a zebracsíkos kültakaró nem tartja a testet hűvösebben a hasonló átlagszürkénél.

Mindezzel szemben, több kutató is hisz a napsütötte zebracsíkok fölött formálódó légörvénysorban és azok hűtő hatásában, de csak néhányuk rukkolt elő e hipotézist szerintük támogató adatokkal. Larison és társai [3] azzal vélték bizonyítottnak a zebracsíkok hűtő szerepét, hogy a csíksűrűség pozitívan korrelál az elterjedési terület átlaghőmérsékletével: minél több az egységnyi testfelületre eső csík, annál melegebb a zebrák élőhelye. Mivel azonban nem vizsgálták a léghőmérséklet és például a zebrák izzadással történő önhűtésének hatékonysága (ami a zebrák életterében élő más, nem csíkos állatoknál szükségtelenné teszi a csíkok általi hűtést) közti összefüggést, ezért e pozitív korreláció nem bizonyítja a csíkok hűtő hatását. Cobb és Cobb [4] Kenyában napsütéses napokon mérték a zebrák fekete és fehér csíkjai közti maximális ΔT_{max} hőmérsékletkülönbséget, ami élő zebrákon ΔT_{max} = 12-15 °C volt, míg kikészített zebrabőrökön 16 °C. Véleményük szerint a lófélék latherin nevű fehérjéje lecsökkenti a zebra izzadságának felületi feszültségét, ami elősegíti az izzadság szőrökön történő párolgását s ezzel a test hűtését. Habár az eredeti hipotézis periodikus konvektív légör-

vénysor általi hűtésről szólt, Cobbék [4] feltételezése szerint a szomszédos fekete és fehér csíkok közti hirtelen hőmérsékletugrás kaotikus légmozgást idézhet elő a szőrök fölött, ami erősítheti a párolgásos hőelvonást. Azt is feltételezték, hogy e párolgásos léghűtés hiánya okozhatja a ΔT_{max} élettelen zebrabőrökön tapasztalt nagyobb értékét, szemben az élő zebrákéval. Azt is megfigyelték, hogy a fekete csíkok szőrei a fehér csíkokéitól függetlenül képesek felállni, ami tovább erősítheti az izzadság párolgását. Szerintük mindez arra utalhat, hogy a zebracsíkok elsődleges szerepe az említett hűtési mechanizmussal történő hőszabályozás lehet.

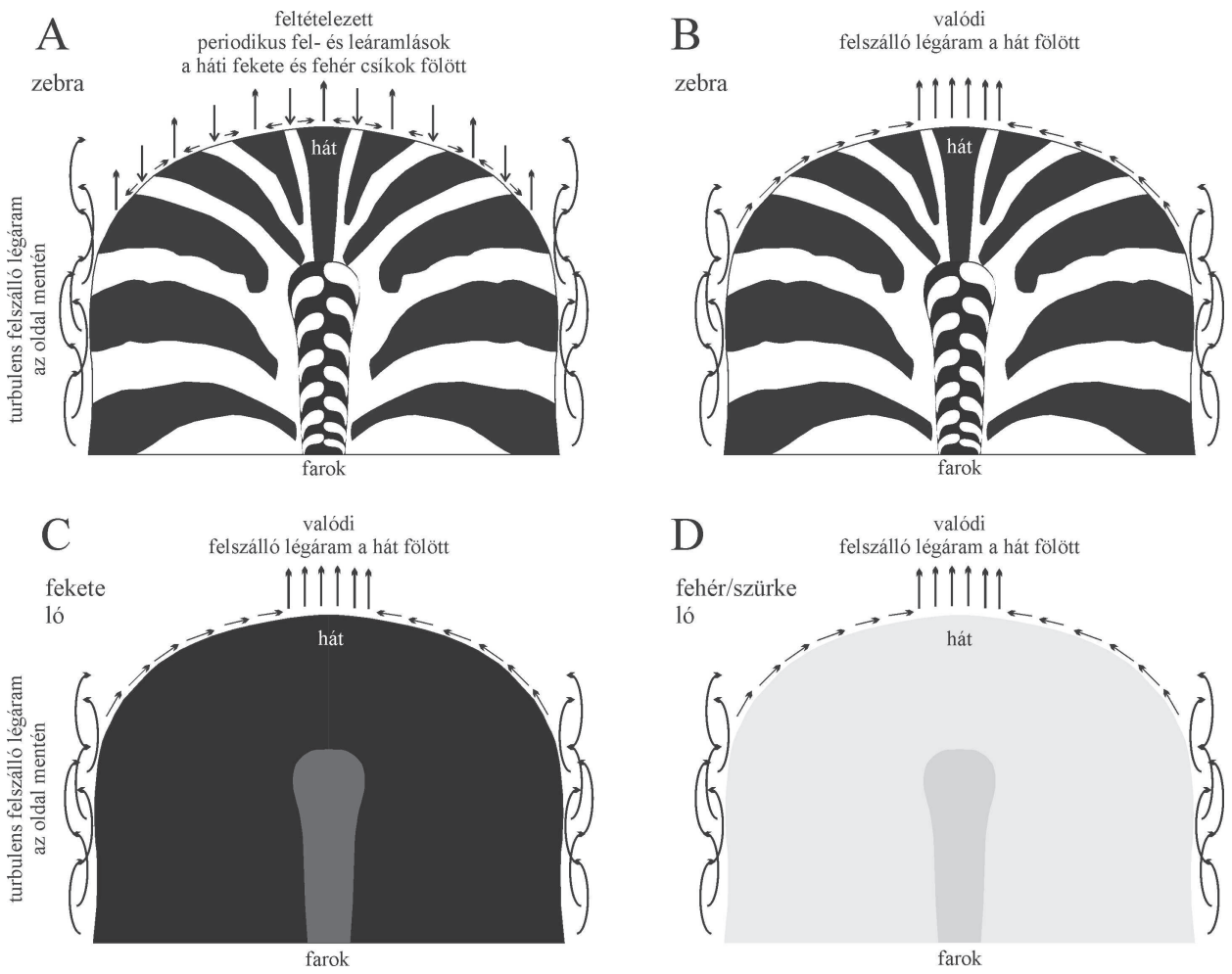
Segítenek a csíkos képek

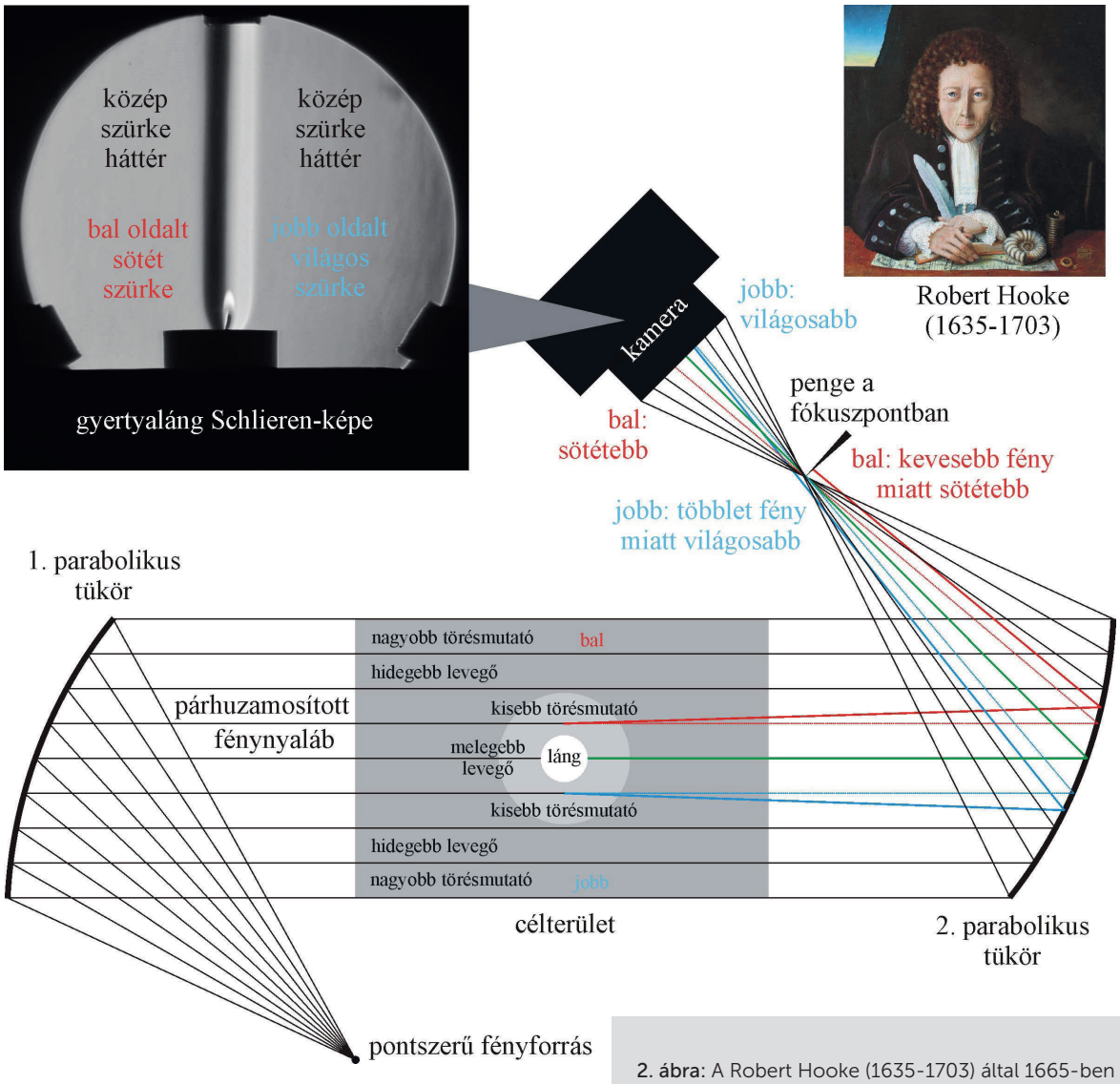
Azonban a napsütötte szomszédos fehér és fekete zebracsíkok közti hőmérsékletkülönbségek egyszerű mérésével nem válaszolható meg a kérdés, hogy napsütésben a zebracsíkok képesek-e vagy nem konvektív légörvények kialakulását elősegíteni. Habár Horváth és társai [2] cáfolták a zebracsíkok hűtő hatását, terepkísérletük nem adott választ arra, hogy konvektív légörvények ki tudnak-e alakulni a zebracsíkok fölött, s ha igen, akkor mennyire stabilak. A zebracsíkok fölötti légörvények általi hűtés lehetősége a következő módszerrel tanulmányozandó: A napsütötte csíkok fölötti konvektív légörvények formálódását Schlieren-optikával kell bizonyítani görbült tesztfelületeken, a szomszédos fekete és fehér csíkok közti több eltérő hőmérsékletkülönbség és szélsebesség mellett, utánozva a zebrák életkörülményeit. Laborkörülmények között ezt végeztük el. Cikkünkben az eredményeinkről számolunk be, amelyek cáfolják a napsütötte zebrák léghűtőjét a csíkos hátuk fölötti légörvénysor hiányának kimutatásával [5].

8 sima (kartonpapírból készített) és 10 szőrös, egyszínű vagy különböző csíkvastagságú tesztfelületeket használtunk (15 cm × 15 cm). Mindegyik felület hengeres (hossz: 15 cm, sugár: 7 cm) volt a zebrahát görbületének modellezése céljából. A szőrös felületek szarvasmarha, ló és zebra bőréből készültek és eltérő szőrhosszal bírtak.

A megvilágított tesztfelületek fölötti légáramlásokat Schlieren-optikával vizsgáltuk. E Robert Hooke (1635-1703) angol fizikus által 1665-ben feltalált módszerrel a levegő (vagy bármely más átlátszó légnemű vagy folyékony közeg) hőmérsékletfüggő térbeli és időbeli törésmutató-

1. ábra. Napsütötte zebrák és lovak testénél szélcsendben kialakuló légáramok. (A) A zebratestnél korábban feltételezett konvektív légörvények. (B-D) Schlieren-optika szerinti valódi légáramlási viszonyok zebrák (B), fekete lovak (C) és fehér/szürke lovak (D) testénél.





2. ábra: A Robert Hooke (1635-1703) által 1665-ben feltalált Schlieren-optika elvi vázlata.

változásait lehet láthatóvá tenni. A mérés elvét a **2. ábra** mutatja [6]: Ha egy pontszerű fényforrást egy parabolatükör fókuszpontjába helyezünk, akkor a tükörre eső széttartó fénysugarak a visszaverődésük után egymással párhuzamossá (kollimálttá) válnak. E kollimált fénynyaláb egy másik parabolatükör fókuszpontjába gyűjthető. Ha e 2. fókuszpont mögé egy fényképezőgépet vagy egy fehér ernyőt helyezünk, akkor egyenletesen világos képet kapunk, amennyiben a kollimált fénynyaláb útjában csak a homogén hőmérsékletű, s így állandó törésmutatójú levegő van. Helyezzünk egy függőleges pengét közvetlenül a 2. fókuszpont jobb oldalára, és tegyünk a párhuzamos fénynyalábba egy gyertalángot, ami fölmelegíti a mellette és fölötte lévő levegőt, így lecsökkenti annak törésmutatóját, míg a környező hidegebb levegőé változatlan marad. Ekkor a láng jobb/bal oldala mellett elhaladó fénysugarak az ottani melegebb levegő kisebb törésmutatója miatt kissé jobbra/balra eltérülve esnek a 2. tükörre, ahonnan visszaverődve annak fókuszpontja mellett kissé balra/jobbra haladnának el a penge hiányában. De a fókuszpont jobb oldalán lévő penge kiszűri a lángot balról kerülő, a fénytörés miatt balra térülő, és a fókuszpont mellett ezért jobbra elhaladni „szándékozó" sugarakat, miáltal azok nem érik el az ernyőt vagy a fényképezőgépet, ennél fogva a képen a lángtól balra egy fényhiányos sötétebb sáv alakul ki. A lángot jobbról kerülő, a fénytörés miatt jobbra térülő, és a fókuszpont mellett ezért balra elhaladó sugarak ellenben a fénytörést nem szenvedőkkel együtt elérik az ernyőt/kamerát, ezért a képen a láng jobb oldalán egy fénybő, világosabb sáv keletkezik. Mindez nemcsak a láng mellett érvényes, hanem fölötte, egy függőleges sávban is a felszálló melegebb, kisebb törésmutatójú légoszlop okán. Elég lenne egyetlen tükör is, de e módszer annál pontosabb, minél hosszabb a fényút, amit két tükörrel szokás növelni, amikor is kisebb törésmutatóeltérések is láthatóvá tehetők.

A föntiekből kifolyólag a Schlieren-kép fényintenzitáskülönbségei, azaz a fehértől a feketéig terjedő szürke árnyalatai a levegő hőmérsékletfüggő törésmutatókülönbségeit szemléltetik. E módszer neve a német „Schliere" (csík) szóból ered, ami az említett sötét/világos

csíkokra utal, mely elnevezést az angol tudományos világnyelv is átvette s máig megtartotta a némettől eltérően kis kezdőbetűvel, cikkünkben viszont a német nagy S kezdőbetűs írásmódot használjuk.

Az eredményül kapott Schlieren-felvételeken a tesztfelületek csíkjaival korreláló, közel függőleges sötét-világos csíkpárokat kerestünk, melyek a feltételezett légörvények létét igazolnák. A pontszerű fényforrás egy fehér fényű dióda (LED, 3 W, 4000 K) volt. A Schlieren-videókat egy Nikon D5600 DSLR fényképezőgéppel készítettük (Full HD, 1920 × 1080 képpont). A 2. parabolatükör fókuszában lévő penge függőleges volt, így a fénytörés vízszintes komponense játszott szerepet a Schlieren-vizualizációban. A teszfelületeket egy napfényt utánzó, fehér fényű halogénlámpa (400 W, 3500 K) világította meg függőlegesen felülről. A céltárgy alatt egy vízszintes tükör gátolta meg a rezgésmentes tartóasztal lapjának melegedését. A Schlieren-méréseket a lámpa bekapcsolása után 5 perccel kezdtük, amikor a tesztfelületek hőmérséklete már állandósult. Mindezt egy laborban végeztük, amiben csak igen gyenge volt a légmozgás, amit nem lehetett kiküszöbölni a mérést folytató személy szükséges jelenléte miatt.

Mesterséges szél és lepkemakett

Annak szemléltetése céljából, hogy a gyönge szelek mennyire befolyásolják a megvilágított tesztfelületeink fölötti légáramlásokat, egy légsűrítővel keltett vízszintes légáramlatot fújtunk a felületek fölé. A tesztfelületek fölött kialakult felszálló légáramlatok instabilitásának szemléltetése végett egy 4,5 cm szárnyfesztávú, kartonból készült, cérnáról lógó lepkemattet mozgattunk föl-le és lengettünk jobbra-balra a tesztfelületek fölött. Egy korábbi terepkísérletünkben [2] automatikus meteorológiai állomással mértük a nyári hónapokra jellemző szélsebességeket és léghőmérskéleteket a talajtól 1 m magasságban. A laboratóriumi Schlieren-mérések során a terepen is alkalmazott kanalas szélmérőt használtuk az általunk keltett szél sebességének mérésére.

A mesterségesen megvilágított tesztfelületeink hőkamerával (VarioCAM, Jenoptik Laser Optik Systeme GmbH, Jena) készített hőképeinek (**3. ábra**) és napsütötte lovak meg zebrák korábbi terepvizsgálataink alkalmával rögzített hőképeinek összehasonlításával megbizonyosodtunk arról, hogy a tesztfelületeink laboratóriumi termikus jellemzői jól utánozták napsütötte lovak és zebrák testfelszíni hőmérsékletleoszlásait. Például minél szélesebbek voltak a zebracsíkok, annál nagyobb volt a szomszédos fekete és fehér csíkok közti hőmérsékletkülönbség.

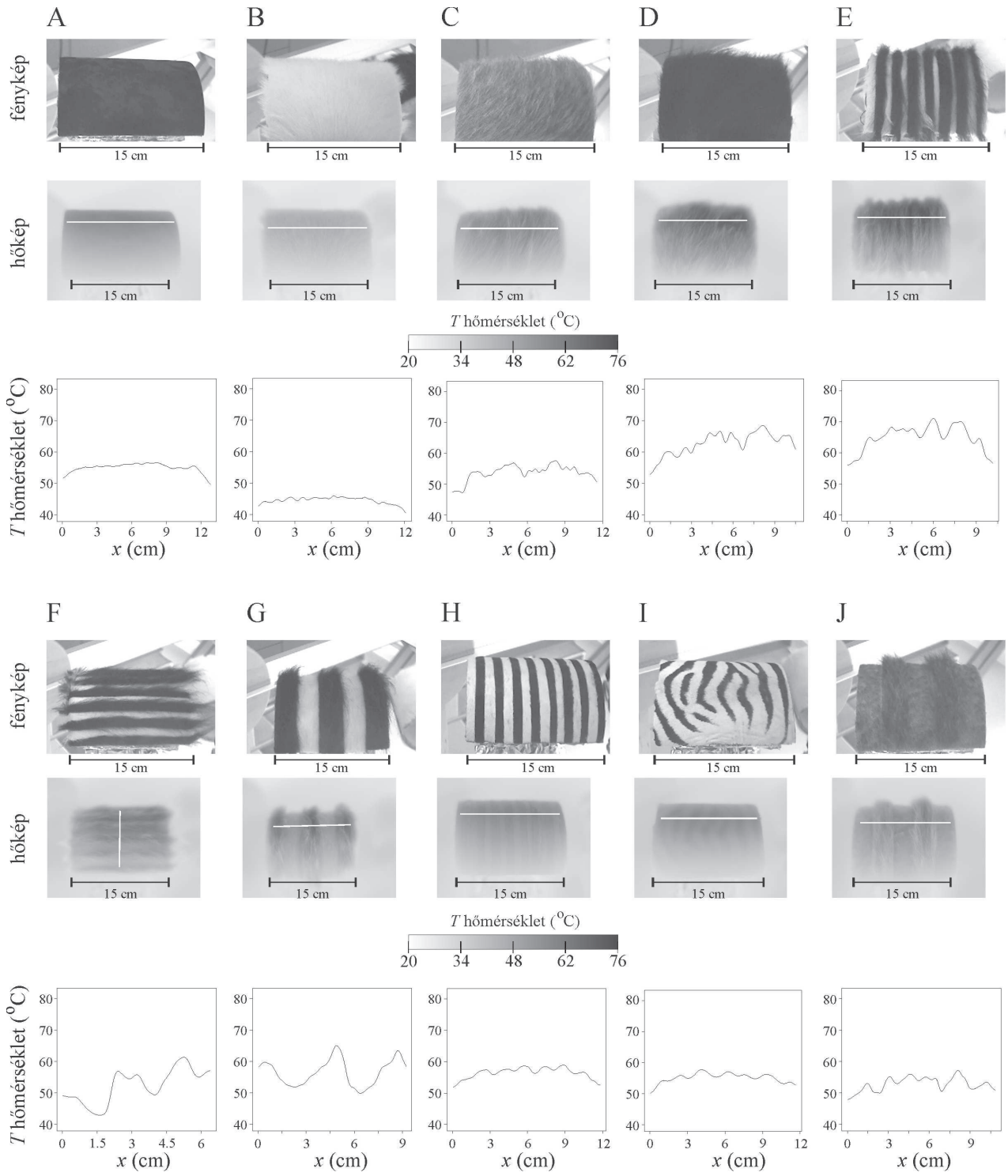
Sima és szőrös felületek

A fénnyel melegített sima tesztfelületeken csakis felszálló légáramlások keletkeztek, amelyek jónéhánya vízszintes irányban többé-kevésbé sodródott. A meleg levegő a görbült felülethez tapadva annak mentén áramlott fölfelé, míg elérte a hengerfelület legmagasabb vonalát, ahol a jobbról és balról érkező meleg áramlat egyesült, majd a felülettől elszakadva a magasba emelkedett. Ez volt a helyzet mindegyik csíkos tesztfelületnél, függetlenül a csíkok irányától, vastagságától és érdességétől (sima vagy szőrös). Mindez ellentmond az eredeti hipotézisnek (**1A ábra**), ami szerint a napsütésben melegebb fekete csíkok fölötti felszálló és a hidegebb fehér csíkok fölötti leszálló áramlásokból egy periodikus légörvénysor formálódik. A napsütötte zebrák és egyszínű négylábúak fölötti, Schlieren-optikával igazolt valódi légáramlási viszonyokat az **1B-D ábra** szemlélteti. Azt is megfigyeltük, hogy a szomszédos fekete és fehér csíkok határvonalai katalizálják a felszálló légáramlatok kialakulását, ami leginkább az 1 cm-es csíkvastagságra volt jellemző.

A megvilágított rövidszőrű tesztfelületek fölötti légáramlások viselkedése a simák fölöttiekéhez volt hasonló (**4. ábra**). Azonban úgy az egyszínű, mint a csíkos hosszúszőrű felületeknél (**4C-F ábra**) a szőrszálak jobban segítették a felszálló légáramlások kialakulását, mint a sima felületű csíkok határvonalai. A hosszú szőrök apró csúcsai megkönnyítették a felszálló meleg áramlatok elszakadását a felülettől. Továbbá a hosszú szőrök a csíkhatárokhoz képest hatékonyabban tompították a feláramlások oldal irányú sodródását. A hosszú- és rövidszőrű csíkokból álló tesztfelületeknél mindig a hosszúszőrű csíkok fölött alakultak ki feláramlások (**4C-F ábra**), amelyek stabilabbak voltak a hosszúszőrű felületek fölött, mint a rövidszőrűek fölött.

Már egy lepkeszárny csapkodása is romboló hatású

Az 1,6 bar nyomással működő szélgenerátorunkkal 1,5 m távolságból keltettünk olyan gyenge légáramlást a megvilágított tesztfelületink fölött, hogy a közvetlenül melléjük helyezett szélmérő kanala nem tett meg egy teljes fordulatot, ami névlegesen 0 km/h szélsebességet jelent. De még ezen igen gyönge oldalszellő is elég volt ahhoz, hogy a zebracsíkos tesztfelületeinkről felszálló légáramlatokat elfújja, szétrombolja (**5A ábra**). Amikor a tesztfelületek fölött a lepkemakettet mozgattuk föl-le, vagy lengettük jobbra-balra, ugyanezt tapasztaltuk (**5B, C ábra**). Mindez



3. ábra. A 10 megvilágított szőrös, hengeres tesztfelület fényképe, hőképe és a hőképen jelzett fehér vonal menti hőmérsékletváltozása. (A) Rövidszőrű barna lóbőr. (B) Rövidszőrű fehér marhabőr. (C) Hosszúszőrű szürke marhabőr. (D) Hosszúszőrű fekete marhabőr. (E) 1 cm széles, hosszúszőrű fekete és rövidszőrű fehér marhabőrcsíkok a hordozó hengerfelület hossztengelyére merőlegesen. (F) Mint az E, de itt a csíkok a hossztengellyel párhuzamosak. (G) 3 cm széles, hosszúszőrű fekete és rövid szőrű fehér marhabőrcsíkok. (H) 1 cm széles, rövidszőrű barna és rövidszőrű fehér lóbőrcsíkok. (I) Rövidszőrű zebrabőr (mellső láb, 2 cm/1 cm fehér/fekete átlagcsíkszélesség). (J) 3 cm széles, váltakozóan rövid- és hosszúszőrű szürke marhabőrcsíkok.

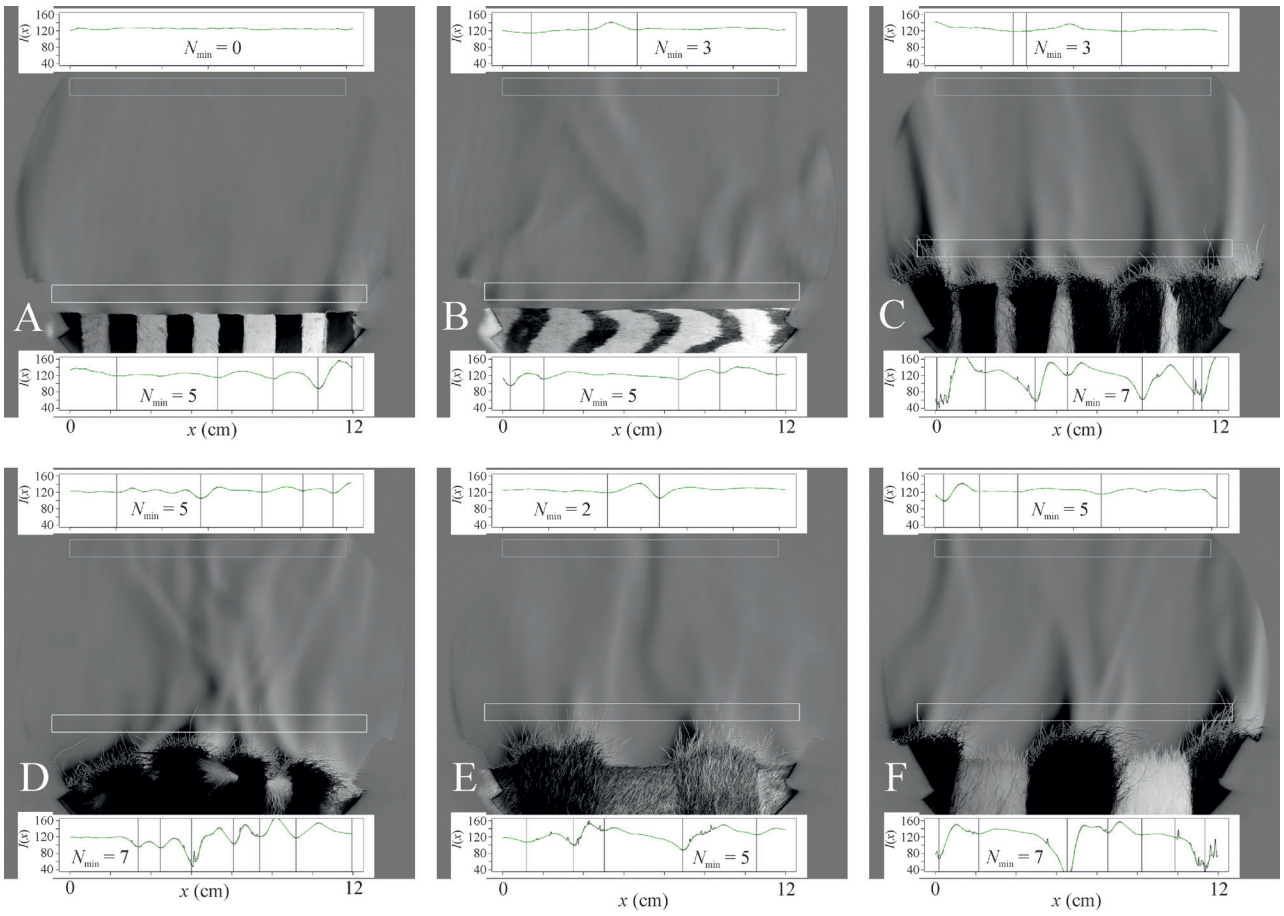
jól mutatja, hogy a napsütötte zebrák fölött kialakuló feláramlásokat a leggyengébb szelek is teljesen szétzilálják.

Schlieren-optikás méréseinkkel tehát kísérleti bizonyítékot kaptunk arra, hogy napsütötte zebracsíkok fölött nem keletkezik konvektív légörvénysor. Így a zebracsíkok funkciója nem lehet e nem létező légörvények általi hűtés. Bebizonyosodott az is, hogy a napsütötte fehér zebracsíkok fölött nincsenek leszálló légáramlások. Ennek fő oka, hogy a fölmelegedett levegő ferdén fölfelé áramlik a domború felső testfelület bal és jobb oldalán és amikor mindkét áram eléri a test legfelső vízszintes hátsávját, egy függőleges feláramlásban egyesülnek.

A korábban feltételezett (lásd **1A ábra**) helyett azt találtuk, hogy a napsütötte zebrák, valamint fekete és fehér/szürke lovak fölötti légáramlás az **1B-D ábra** szerinti. Az is kiderült, hogy minél melegebb a felület, annál intenzívebb a felszálló légörvény feláramlása, így nagyobb zavart okozhat a környezete többi feláramlásában. E hatás miatt nehezebben alakulhat ki rendezett légörvénysor. Bizonyítottuk, hogy a fekete-fehér csíkok határvonalai katalizálni képesek a feláramlások kialakulását, azonban e hatás csak meghatározott csíkvastagságnál érvényesül. Ha ritkán csíkozott a felület, akkor a vastag fekete csíkokon belül is kialakulnak feláramlások. Ha nagy a csíksűrűség, akkor a túl vékony csíkok miatt a homogén felületekéhez hasonlók a feláramlások. Azt is kimutattuk, hogy a hosszú szőrszálak előmozdítják a feláramlások formálódását, mert segítik a felszálló meleg légáramlások felülettől való elszakadását.

A kialakult feláramlás oldalirányú sodródását a szomszédos fekete és fehér csíkok határvonalai megakadályozni nem képesek. Ezzel szemben a hosszabb szőrök/szőrcsomók hatékonyabban stabilizálják a meleg feláramlások kiindulási helyét. A csíkoknak csak közvetlenül a felület fölött (néhány cm-ig) van hatásuk a légáramlások kialakulására a feláramlások elősegítése és azok oldalsodródásának gátlása formájában, magasabban már elenyésző e befolyás. Habár szélcsendben a napsütötte zebracsíkok fölött felszálló légáramlatok formálódnak, a leggyengébb szellő vagy az állat mozgásakori ellenszél is elfújja, szétzilálja őket. Mivel természetes (szeles) körülmények között a meleg feláramlások nagyon hasonlóan viselkednek egyszínű és csíkos napsütötte kültakarók fölött, ezért mindkét felülettípust szinte egyformán hűtik.

4. ábra. Megvilágított csíkos, szőrös, hengeres tesztfelületekről felszálló légáramlások Schlieren-képei. (A) 1 cm széles lóbőrcsíkok (= H a 3. ábrán). (B) Zebrabőr (= I). (C) 1 cm széles, hosszúszőrű fekete és rövidszőrű fehér marhabőrcsíkok a hordozó hengerfelület hossztengelyére merőlegesen (= E). (D) Mint az E, de itt a csíkok a hossztengellyel párhuzamosak (= F). (E) Váltakozóan rövid- és hosszúszőrű szürke marhabőrcsíkok (= J). (F) 3 cm széles, hosszúszőrű fekete és rövid szőrű fehér marhabőrcsíkok (= G).



5. ábra. Megvilágított csíkos, sima, hengeres tesztfelületről felszálló légáramlások Schlieren-képei, amikor egy vízszintes gyönge szellő fújt a hengerre merőlegesen (A), egy lepkemakett mozgott föl-le (B), vagy lengett jobbra-balra (C) a felület fölött, szélcsendben.

Záró gondolatok

A laboratóriumi szélmentes körülmények között Schlieren-optikával megfigyelt légáramlások nem alakulhatnak ki a terepen az örökké fújó szelek/szellők miatt. Egy magyarországi terepkísérlet során 3 hónapig szakadatlanul mértük a szélsebességet [2]. Minél magasabb volt a nappali léghőmérséklet, annál nagyobb volt a szélsebesség, és szélcsend szinte soha sem uralkodott napközben az állandó helyi légmozgások következtében, amelyek átlagsebessége 2-5 km/h volt. Ilyen erős szelek lehetetlenné teszik a napsütötte zebracsíkok fölött bárminemű légörvények vagy egyszerű feláramlások kialakulását és fennmaradását. A zebrák afrikai élőhelyén is nyilván ugyanez a helyzet.

Valószínűtlen, hogy a Schlieren-optikával megfigyelt réteges (lamináris) feláramlások jobban hűtenék az alattuk lévő meleg szőrös állatbőrt (kültakarót), mint a turbulensek. A megfigyelt feláramlások nyilván hűtik a meleg kültakarót, mivel oldalról hűvösebb levegővel pótlódnak. Minél sötétebb egy napsütötte kültakaró, annál melegebb a róla felszálló levegő, ami annál erősebb/gyorsabb hőeltávolító feláramlást eredményez. Ugyanakkor egy sötétebb kültakaró nyilván jobban melegíti az állatot, mint egy világosabb.

Jól ismert tény, hogy a zebracsíkos kültakaró sokkal kevésbé vonzza a vérszívó cecelegyeket [7] és bögölyöket [8, 9], mint az egyszínűek, és e csökkent vizuális vonzóképesség a csíkos mintázat egyik fő funkciója. Cobb és Cobb [4] feltételezése szerint a napsütötte zebrákról felszálló légáramlatok megnehezíthetik a legyek rájuk szállását. A Schlieren-optikás kísérleteinkben nagyon hasonló aerodinamikai tulajdonságú feláramlásokat tapasztaltunk mind az egyszínű, mind a csíkos tesztfelületek fölött. Így, ha a napsütötte zebrákról felszálló légáramlatok gátolnák a legyek rájuk szállását, akkor ugyanez lenne igaz a homogén sötét (fekete, barna) szőrű gazdaállatokra is. Azonban terepkísérleteinken számtalanszor megfigyeltük, hogy a bögölyök még a napsütésben legmelegebb szőrű fekete lovakra is könnyen rászállnak. E lovak fölött alakulnak ki a leghevesebb feláramlások, amelyek tehát nem gátolják meg a bögölyök landolását.

PERESZLÉNYI ÁDÁM – SZÁZ DÉNES – JÁNOSI IMRE – HORVÁTH GÁBOR

Kutatásunkat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal NKFIH K-123930 számú (Zebracsíkok termofiziológiai vizsgálata: új magyarázat a zebracsíkok szerepére) pályázata támogatja.

IRODALOM

1. Caro T. (2016) *Zebra Stripes*. University of Chicago Press, Chicago
2. Horváth G., Pereszlényi Á., Száz D., Barta A., Jánosi I. M., Gerics B., Akesson S. (2018) Experimental evidence that stripes do not cool zebras. *Scientific Reports* 8: 9351
3. Larison B., Harrigan R. J., Rubenstein D. I., Smith T. B. (2015) Concordance on zebra stripes is not black and white. *Royal Society Open Science* 2: 150359
4. Cobb A., Cobb S. (2019) Do zebra stripes influence thermoregulation? *Journal of Natural History* 53: 863-879
5. Pereszlényi Á., Száz D., Jánosi I., Horváth G. (2021) A new argument against cooling by convective air eddies formed above sunlit zebra stripes. *Scientific Reports* 11: 10.1038/s41598-021-95105-4(www.nature.com/articles/s41598-021-95105-4)
6. Settles G. S. (2012) *Schlieren and Shadowgraph Techniques: Visualizing Phenomena in Transparent Media*. Springer: Heidelberg
7. Vale G. A. (1974) The response of tsetse flies (Diptera, Glossinidae) to mobile and stationary baits. *Bullentin of Entomological Research* 64: 545-588
8. Egri Á., Blahó M., Kriska G., Farkas R., Gyurkovszky M., Åkesson S., Horváth G. (2012) Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* 215: 736-745
9. Blahó M., Egri Á., Száz D., Kriska G., Åkesson S., Horváth G. (2013) Stripes disrupt odour attractiveness to biting horseflies: Battle between ammonia, CO_2, and colour pattern for dominance in the sensory systems of host-seeking tabanids. *Physiology and Behavior* 119: 168-174