

**Összetett vizuális ökológiai csapdák és a zebracsíkos
bőrfelületek ökológiai és fiziológiás tulajdonságainak
vizsgálata**

Doktori értekezés

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Környezettudományi Doktori Iskola (vezetője: Dr. Jánosi Imre),
Környezetbiológia Program (vezetője: Dr. Tóth Erika)

Készítette:

Pereszlényi Ádám

Témavezetők:

Dr. habil. Kriska György egyetemi docens,

Dr. habil. Horváth Gábor egyetemi tanár

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
BIOLÓGIAI FIZIKA TANSZÉK, KÖRNYEZETOPTIKA LABORATÓRIUM



Budapest, 2020.

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	iii
Bevezetés	1
Célkitűzések	5
1. A dán kérész (<i>Ephemera danica</i>) összetett ökológiai csapdája	7
1.1. Bevezetés	7
1.2. Anyag és módszer	8
1.2.1. 1. csapdázós kísérlet	9
1.2.2. 2. csapdázós kísérlet	9
1.2.3. Színes kísérletek	9
1.2.4. Képalkotó polarimetria	11
1.2.5. Statisztikai elemzés	11
1.3. Eredmények	11
1.4. Eredmények értékelése	13
1.5. A témában megjelent publikációm	17
2. A dunavirág (<i>Ephoron virgo</i>) túlélési esélyeinek növelése hidak környezetében	19
2.1. Bevezetés	19
2.2. Anyag és módszer	21
2.3. Eredmények	24
2.4. Eredmények értékelése	25
2.5. A témában megjelent publikációm	28
3. Madárfajok atipikus táplálkozása a Duna-parti üvegépületeknél	29
3.1. Bevezetés	29
3.2. Anyag és módszer	31
3.3. Eredmények	31
3.4. Eredmények értékelése	34
3.5. A témában megjelent publikációim	35

4. A csíkos testfestés véd a bögölyök ellen	37
4.1. Bevezetés	37
4.2. Anyag és módszer	40
4.2.1. Képkalkotó polarimetria	40
4.2.2. Választásos terepkísérlet	40
4.2.3. Statisztikai elemzés	42
4.3. Eredmények	43
4.4. Eredmények értékelése	47
4.5. A témában megjelent publikációim	51
5. A zebracsíkok hűtő hatásának terepkísérleti cáfolata	53
5.1. Bevezetés	53
5.2. Anyag és módszer	56
5.2.1. Léghőmérséklet és szélesebbesség	56
5.2.2. A hordók maghőmérséklete	56
5.2.3. A hordók és valódi zebrák hőképe	57
5.2.4. A hordókról visszaverődő fény színe	57
5.2.5. A hordók maghőmérséklet-átlagának összehasonlítása	58
5.2.6. Időkésleltetés megállapítása	58
5.2.7. A hordók maghőmérsékletének összehasonlítása T^* és w^* szűrővel	59
5.3. Eredmények	60
5.3.1. Léghőmérséklet és szélesebbesség	60
5.3.2. Hordók és valódi zebrák hőképe	60
5.3.3. A hordókról visszaverődő fény színe	61
5.3.4. A hordók maghőmérséklet-átlagának összehasonlítása	64
5.3.5. Időkésleltetés megállapítása	64
5.3.6. A hordók maghőmérsékletének összehasonlítása T^* és w^* szűrővel	66
5.4. Eredmények értékelése	68
5.5. A témában megjelent publikációim	70
6. Függelék	71
6.1. Függelék a 4. fejezethez	71
6.2. Függelék az 5. fejezethez	73
Összefoglalás	95
Summary	99
Felhasznált irodalom	103

Köszönetnyilvánítás

Hálásan köszönöm konzulenseimnek, *Dr. Kriska Györgynek* és *Dr. Horváth Gábornak* a doktori munkám során nyújtott segítségét. Továbbá köszönetemet szeretném kifejezni szerzőtársaimnak *Barta Andrásnak*, *Egri Ádámnak*, *Farkas Alexandrának*, *Geric Balázsnak*, *Jánosi Imrének*, *Penksza Károlynak*, *Susanne Ákessonnak* és *Száz Dénesnek* a közös munkáért. Köszönettel tartozom az ELTE Biológiai Fizika Tanszék munkatársainak, valamint mindenkinek, aki segítette és támogatta a doktori tanulmányomat és kutatásaimat.

Bevezetés

A fény transzverzális hullám, ami az elektromágneses hullámok egyik legfontosabb jellegzetessége. Ez röviden annyit jelent, hogy az elektromos és mágneses térerősségvektorok, mint fizikai mennyiségek a hullám terjedési irányára merőlegesen rezegnek. Az emberi szem számára a fény intenzitása és hullámhossza képvisel használható információt. Transzverzális tulajdonságából fakadóan azonban a fénynek egy harmadik, számunkra láthatatlan jellemzője is van, ami a hullámban rezgő elektromos tér rezgéssíkjával kapcsolatos. Ezt a tulajdonságot polarizációnak nevezzük. A napból érkező direkt fény polarizálatlan, ami azt jelenti, hogy a fénynyalábot alkotó fotonoknak nincs kitüntetett rezgéssíkja. Ezzel ellentétben a felületekről visszaverődő, vagy például a légkörben szóródó fény részben vagy teljesen polarizálttá válhat. Ekkor egy kitüntetett síkban nagyobb arányban rezegnek a fotonok, mint más irányokban. A poláros fényben ennek a kitüntetett rezgéssíknak egy referenciairánytól, például a függőlegestől való eltérését nevezzük polarizációiránynak. A polarizáció mértékét pedig a polarizációfok adja meg. Polarizálatlan fénynyaláb esetén a polarizációfok 0%, míg egy olyan fénynyaláb esetén, amiben az összes foton egyöntetűen egy síkban rezeg, a polarizációfok 100%. Számos állatfajnál bizonyították, hogy képesek érzékelni a fény polarizációját, és az így kapott információt tájékozódásra (például méhek és tücskök), vízkeresésre (például szitakötők, kérészek és tegzesek) vagy gazdaállat keresésre (például bögölyök) használják [1]. Doktori dolgozatom 1–3. fejezeteiben a poláros fényszennyezés okozta ökológiai csapdákkal kapcsolatos vizsgálataimat ismertetem.

Ökológiai csapdának tekintjük az emberi tevékenység nyomán rövid idő alatt, a környezeti viszonyokban bekövetkező olyan változásokat, amelyek hatására valamely populáció egyedei korábban adaptív viselkedési mintákat követve alkalmatlan vagy a közeljövőben alkalmatlanná váló élőhelyet választanak maguknak vagy utódaiknak. Ennek hatására a populáció mérete csökken, vagy akár ki is halhat [2]. Az ökológiai csapdák egyik fajtája a poláros fényszennyezés [3], ami kiemelten veszélyezteti a vízirovarokat. Tipikus poláros fényszennyezők például az aszfaltutak [4], a fekete mezőgazdasági fóliák [5], az épületek üvegfelületei [6], a sötét színárnyalatú autókarosszériák [7], valamint a napelemtáblák és napkollektorok [8]. Ezek a felületek általában erősen (azaz nagy polarizációfokú) és vízszintesen poláros fényt reflektálnak. Ha egy vízirovarnak egy poláros fényszennyező felület és a vízfelszín között kell választania, akkor gyakran az előbbit választja, mert az erősen és vízszintesen poláros fény szupernormális ingerként

hat a rovarra [3]. A fent említett mesterséges felületek evolúciós léptékben rendkívül gyorsan jelentek meg és terjedtek el, így a vízirovaroknak nem volt idejük az új optikai környezethez alkalmazkodni. A poláros fényszennyezés miatt a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációján alapuló, korábban adaptív vízkeresési stratégia előnytelené válik azon területeken, ahol sok a poláros fényszennyező felület.

Számos áramló vízben fejlődő kérészfaj nőtényei a párzást követően kompenzációs repülést végeznek a folyásiránnyal szemben, mielőtt lerakják tojásaikat. Ezzel a viselkedésükkel képesek ellensúlyozni a folyóba vagy patakba lerakott tojásaikat érő elsodró hatást. A kompenzációs repülés során a nőstény kérészek a vízről visszaverődő fény polarizációs mintázatát figyelve maradnak a víz fölött. Az égboltot tükröző vízfelszín többnyire vízszintesen poláros, míg a part menti növényzetet és a folyót keresztező hidat tükröző vízfelület jellemzően ferdén vagy függőlegesen poláros fényt reflektál. Kompenzációs repülésük során a kérész nőstények a vízszintesen poláros fényt reflektáló vízfelszín fölött igyekeznek repülni. A pataklakó kérészeknél (ilyen például a dán kérész (*Ephemera danica* Müller, 1764)) megfigyelhető, hogy ha a kompenzációs repülés során elveszítik a vízszintesen poláros jelet (ami a keskeny patakot szegélyező magas fák árnyéka és/vagy tükörképe miatt gyakran előfordulhat), akkor a magasba emelkednek, így könnyebben visszatalálhatnak a patakhoz. Ha egy patakot keresztező aszfaltúttal burkolt híd felszíne közel van a patakhoz, akkor a felemelkedő kérészek az út fölé emelkednek. A szintén vízszintesen poláros fényt reflektáló út megtéveszti a kérészeket, emiatt azok a kompenzációs repülést az aszfaltút fölött folytatják [8, 9]. Az út fölött repülő kérészek eltávolodhatnak a pataktól, a repülést egészen addig folytatják, amíg a petézésüket kiváltó erősebb poláros jelet nem találnak az úton. Ilyen jel lehet például az aszfaltúton lévő pocsolyáról tükröződő poláros fény. Egy patakot keresztező aszfaltúton a hídtól egyre távolodva különböző poláros rovarcsapdákat helyeztünk ki, amelyekkel a dán kérész ezen összetett ökológiai csapdájának mechanizmusát vizsgáltuk (1. fejezet).

Az éjszaka rajzó dunavirág (*Ephoron virgo* Olivier, 1791) nőtényeinek kompenzációs repülését szintén megzavarják a folyó fölött átívelő hidak. Amikor a kompenzációs repülést végző egyedek elérnek egy hidat, a pozitív fototaxisuk miatt felrepülnek a hídlámpákhoz, illetve a hidak melletti, közvilágítást biztosító utcalámpákhoz. A rajzás előrehaladtával a kimerült kérészek a folyó helyett a szintén vízszintesen poláros fényt reflektáló aszfaltútra rakják tojászsomóikat, amelyek kiszáradnak és elpusztulnak [10]. Feltételeztük, hogy a hídról leléगतott, a folyó folyásirányába néző erős fényű lámpák (fénySOROMPÓK) képesek megakadályozni, hogy a nőstény dunavirág kérészek elhagyják a folyót, ezért a kimerülő kérészek a folyóba hullanak, így oda is petéznek. Az Ipolyon és a Rábán végzett terepkísérleteinkben a fénySOROMPÓ prototípusát teszteltük, és arra kerestük a választ, hogy az valóban képes-e a folyó fölött tartani a nőstény dunavirág kérészeket (2. fejezet).

Minden év április közepétől június elejéig a budapesti Duna-parti üvegépületeknél nagy

számban jelennek meg a dunai tömegtegzések (*Hydropsyche pellucidula* Curtis, 1834). Ezen rovarok nappal az épületek előtt rajzanak, illetve az épületek homlokzatán és ablakain pihennek [11]. Mivel nagy számban vannak jelen, és az épületek homlokzata gyenge menedéket biztosít számukra, ezért egyes madárfajok könnyedén kiaknázzhatják ezt a táplálékforrást. Robertson és munkatársai [12] írták le először, hogy az ELTE-TTK üvegépületeinél barázdabillegető (*Motacilla alba* Linnaeus, 1758), házi veréb (*Passer domesticus* Linnaeus, 1758), széncinege (*Parus major* Linnaeus, 1758) és szarka (*Pica pica* Linnaeus, 1758) táplálkozik a rajzó dunai tömegtegzésekkel. Ezt követően, doktori kutatásom során a korábbi fajok mellett megfigyeltem nagy fakopáncsot (*Dendrocopos major* Linnaeus, 1758), házi rozsdafarkút (*Phoenicurus ochruros* Gmelin, 1774) és dolmányos varjút (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758) is dunai tömegtegzessel táplálkozni (3. fejezet).

Doktori értekezésem második része a zebracsíkos felületek ökológiai és fiziológiai hatásaival foglalkozik. A zebracsíkok evolúciós előnye már közel 150 éves vita tárgya, ami Wallace és Darwin publikációival kezdődött [13, 14, 15]. Mostanáig mintegy 18 hipotézis született annak magyarázatára, hogy miért előnyös a zebrák csíkozottsága. Ezek a következő négy fő csoportra oszthatók [16]:

1. ragadozó elleni védelem, amely magába foglalja a rejtőzködést, illetve a ragadozó vizuális összezavarását [15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29],
2. szociális interakciók megkönnyítése [25, 28, 30, 31, 32, 33],
3. vérszívó rovarok (bögölyök és cecelegyek) támadásának csökkentése [16, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43],
4. testhőmérséklet szabályozása [25, 28, 44, 45].

A 3. hipotézis már korábban kísérleti bizonyítást nyert [34, 35, 37, 38]. Ezen terepkísérletek a cecelegyek és a bögölyök négy lábú gazdaállataikhoz való vonzódását vizsgálták. Egyes bennszülött törzsek a tradicionális testfestés során többnyire világos festéket kennek a sötét bőrükre, emellett a testfestés számos motívuma a zebrák csíkjaira emlékeztet. Az emberek oszlopszerű alakja jelentősen eltér a négy lábú gazdaállatok alakjától. Feltételeztük, hogy a csíkos testfestés a zebracsíkokhoz hasonlóan csökkenti a bögölytámadások számát. Ezen hipotézis ellenőrzése céljából egy terepkísérletben ember nagyságú bábuk bögölyvonzó-képességét vizsgáltuk (4. fejezet).

A zebracsíkok feltételezett evolúciós előnyének 4. csoportja (misperint a zebracsíkok fölött kialakuló periodikus légáramlás hűti az állatot) már több korábbi vizsgálatnak is tárgya volt, ezek azonban egyszerű megfigyeléseken [16, 46, 47, 48] vagy elterjedési adatok korrelációján [39, 44] alapultak. A hipotézist terepkísérletekkel teszteltük, amelyek során különböző színű és mintájú ló-, marha- és zebrabőrökkel bevont, vízzel töltött hordók maghőmérsékletét vizsgáltuk (5. fejezet).

A doktori dolgozatom fejezeteinek témái jelentősen eltérnek egymástól, ezért minden fejezet egy bővebb irodalmi szemlét tartalmazó bevezetéssel kezdődik.

Célkitűzések

Doktori értekezésemben a következő kérdésekre kívánok választ adni:

- Megment-hetők-e azon kérészegyedek utódai, amelyeket eltérített a pataktól a patakot keresztező híd és a rajta átvezető aszfaltút gyengén és vízszintesen poláros fénye? (1. fejezet)
- Megelőzhető-e a dunavirág (*Ephoron virgo*) kivilágított hídtesteken történő tömeges pusztulása a hídszerkezetre helyezett mesterséges fényforrásokkal? (2. fejezet)
- Milyen madárfajok és hogyan képesek kihasználni a Duna-parti üvegépületeknél nagy tömegben rajzó tegzesek által biztosított, könnyen kiaknázzható táplálékforrást? (3. fejezet)
- A bennszülött törzsek által használt tradicionális csíkos testfestés csökkenti-e a bögöly-támadások számát? (4. fejezet)
- Van-e kimutatható hűtő hatása a zebracsíkoknak? (5. fejezet)

Ezek mellett a következő természetvédelmi problémák megoldására teszek javaslatot:

- Miként menthető meg a különböző pataklakó kérészfajok utódgenerációja vízszintesen poláros fényt reflektáló rovarcsapdák alkalmas helyre történő kihelyezésével? (1. fejezet)
- Hogyan kerülhető el a dunavirág tömeges pusztulása a Duna mentén lévő kivilágított műtárgyaknál? (2. fejezet)

1. fejezet

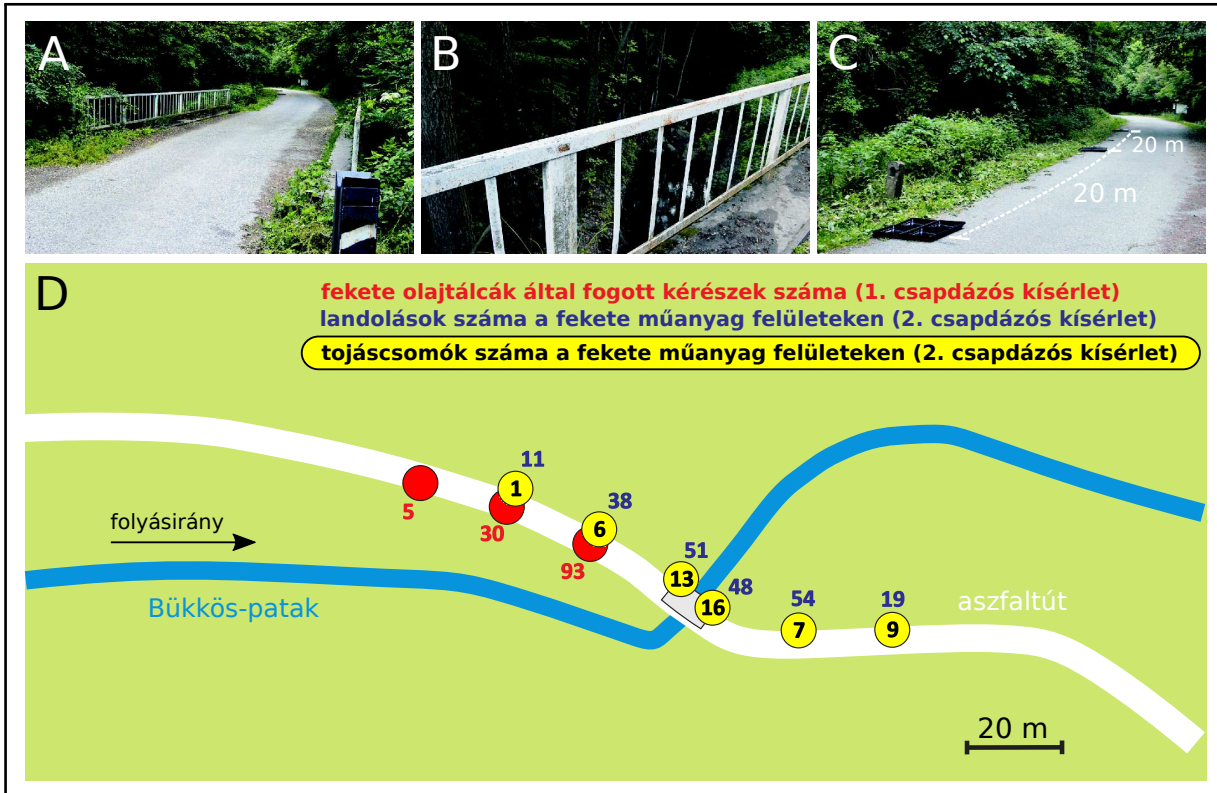
A dán kérész (*Ephemera danica*) összetett ökológiai csapdája

1.1. Bevezetés

A poláros fényszennyezés során a poláros fényt érzékelni képes állatok természetes viselkedését megváltoztatja a mesterséges felületekről visszaverődő vízszintesen poláros fény [3]. Schwind [49, 50, 51] bizonyította először, hogy számos vízirovar képes érzékelni a víz által reflektált vízszintesen poláros fényt. A visszaverődő fény intenzitása és színe (spektruma) helyett számos vízirovarfajnak ez az elsődleges jel, ami alapján a vizet detektálja. Még víztestek közelében is számos vízirovar az erősen (nagy polarizációfokú) és vízszintesen poláros fényt reflektáló, mesterséges felületre próbálja lerakni tojásait, ahol azok kiszáradnak, és az utódgeneráció megsemmisül. Az ilyen műtárgyak közelében megfigyelhető szembeszökő mértékű rovarpusztulás fontos szerepet játszott az ökológiai csapda fogalmának tudományos meghatározásában [4, 52, 53].

Az aszfaltutak poláros fényszennyezők, hiszen a róluk visszaverődő fény vízszintesen poláros. A visszaverődő fény polarizációfoka erősen függ az út színétől. A világos árnyalatú utak gyengén poláros fényt reflektálnak, míg a sötétebb anyagú vagy nedves utak polarizációfoka magasabb. A reflektált fény polarizációfoka a visszaverődési szögtől is függ, Brewster-szögben ($\Theta_{\text{Brewster}} = \arctan n$ a függőlegestől mérve, ahol n az út anyagának törésmutatója) a legnagyobb. Kriska és munkatársai [7, 9], valamint Horváth és munkatársai [8] megfigyelték, hogy ahol az aszfaltút a patakot keresztezi, a nőstény dán kérészek (*Ephemera danica*) a kompenzációs repülésüket az aszfaltút fölött folytatják, ennek hatására az út igen nagy távolságra képes elvezetni őket a petezésre alkalmas pataktól.

Feltételezhető, hogy az aszfaltútról visszaverődő, viszonylag gyengén (alacsony polarizáció fokú) és vízszintesen poláros fény nem váltja ki a petélést, azonban elegendő a „vízkövető” viselkedés előidézéséhez. Az aszfaltút eltéríti a nőstény kérészeket, és képes elvezetni őket nagy



1.1. ábra. A terepkísérletek helyszíne. **A, B:** Fényképek a hídról. **C:** Az 1. csapdázós kísérlet során kihelyezett olajtálcák. **D:** Az olajtálcák (piros körök) és a fényes, vízszintes fekete felületek (sárga körök) az 1. és 2. csapdázós kísérletben. A csapdázott kérészek száma pirossal, a leszállások száma kézzel és a tesztfelületre lerakott tojáscsomók száma feketével van feltüntetve.

távolságra lévő erősen és vízszintesen poláros felületekhez, amely kiváltja a petézést. Ebben a fejezetben azokat a terepkísérleteket mutatom be, amelyekkel ezt a hipotézist teszteltük. Szintén terepkísérlettel vizsgáltuk, hogy az aszfaltút által eltérített nőstény kérészeket vonzzák-e az út szélére kihelyezett fényes fekete és piros tesztfelületek. Ezen eredményekre alapozva egy egyszerű módszert javasolunk, amellyel megmenthető az eltérített kérészek utódgenerációja.

1.2. Anyag és módszer

2014-ben és 2016-ban Dömörkapu mellett (47°40' É, 19°03' K) a dán kérész (*Ephemera danica*) szaporodási viselkedését vizsgáltuk a rajzási időszakban 18:00 és 21:00 óra (nyári időszámítás) között végzett terepkísérletekben. A kísérleti helyszín a Bükkös-patak olyan szakaszánál volt, ahol az aszfaltút több kilométeren keresztül párhuzamosan halad a patakka, többször keresztezi azt kis hidakkal (1.1. ábra). Az utóbbi húsz évben többször megfigyeltük, hogy májustól júliusig alkonyatkor nőstény dán kérészek repülnek az út fölött.

1.2.1. 1. csapdázós kísérlet

Az 1. csapdázós kísérletben a hipotézisünk azon részét teszteltük, hogy a gyengén és vízszintesen poláros fényt reflektáló aszfaltút képes-e eltéríteni a kompenzációs repülésüket végző nőstény kérészeket, és képes-e elvezetni őket távolabbi kisebb, erősen és vízszintesen poláros fényt reflektáló mesterséges felületekhez. Amennyiben igen, akkor a kis méretű poláros fényszennyező felületek hatóköre jelentősen megnövekedhet. 2014. május 6. és 22. között, a dán kérész rajzási időszakában 14 napon keresztül végeztük a kísérletet, amely során a hídtól nyugati irányba távolodva 20 méterenként három csapdát helyeztünk ki (1.1. C, D ábrák), a hídhöz legközelebbi csapda a híd nyugati hídfőjétől 20 m-re volt. A hipotézisünk alapján arra számítottunk, hogy a hídfőhöz legközelebbi csapda fogja a legtöbb nőstény kérészt, ugyanis a kompenzációs repülésük során azzal találkozhattak elsőként.

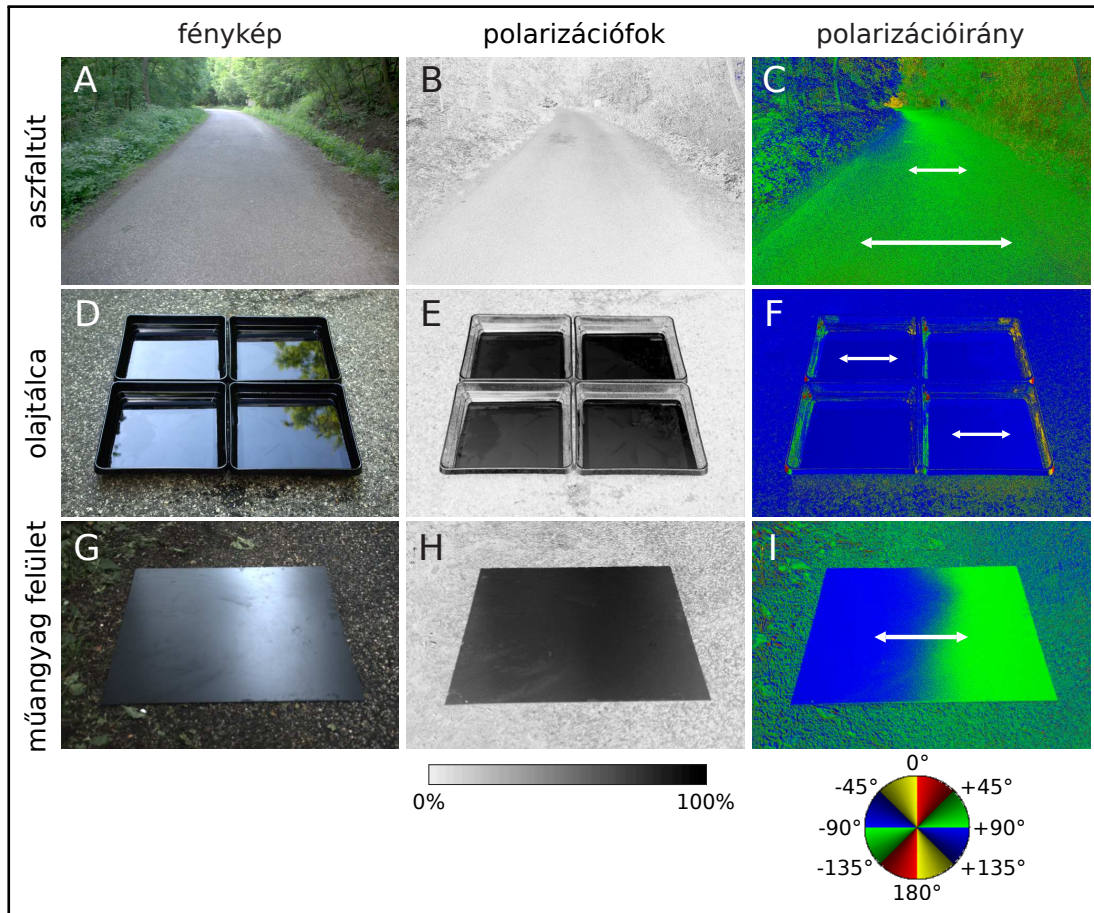
Mindegyik csapda négy darab, négyzet alapú (75 cm × 75 cm), feketére festett műanyag tálcából állt (1.2. D ábra), amelyeket átlátszó, enyhén sárgás napraforgóolajjal töltöttünk fel. A csapdázott nőstényeket a begyűjtésüket követően 50%-os alkoholban tároltuk.

1.2.2. 2. csapdázós kísérlet

Az 1. terepkísérletben a csapdák csupán egy irányba, a hídtól nyugatra voltak kirakva, ezért nem tudhattuk, hogy az eltérített nőstény dán kérészek az aszfaltút fölött mindkét irányba folytatták-e kompenzációs repülésüket. Az 1. terepkísérlet alatt megfigyeltük, hogy a hídtól keletre lévő aszfaltút fölött is repültek dán kérészek. Ez inspirált bennünket a 2. terepkísérletre, amit 2016. június 2. és 5. között végeztünk, a híd mindkét oldalán egymástól 20 méter távolságra elhelyezett 3 darab, 1 m × 1 m méretű fényes fekete műanyag felülettel (1.2. G ábra). A hídhöz legközelebbi tesztfelületek mindkét oldalon a hídfőnél voltak (1.1. D ábra). Mindegyik tesztfelületet egy-egy személy figyelte, akik feljegyezték a kérészek leszállásainak számát, valamint a rajzás végén leszámolták a felületekre rakott tojászsomókat. A felületre leszállt kérészek jellemzően rövid időre (< 1 s) fel-felröppentek, majd újra leszálltak rá. Mivel ezeket a rövid felröppenéseket nem lehetett mindegyik kérésznél számolni, ezért egy leszállási eseménynek a leszállást, fel-felröppenéseket és elrepülést tekintettük. A tesztfelületek optikai tulajdonságai hasonlóak voltak az 1. terepkísérletben használt olajtálcákéhoz (1.2. ábra).

1.2.3. Színes kísérletek

Azon hipotézisünket is teszteltük, hogy a dán kérészek azonos mértékben vonzódnak-e a vízszintesen polarizáló fekete és piros felületekhez. Általánosságban elmondható, hogy minél fényesebb és az adott hullámhosszon minél sötétebb egy felület, a róla visszaverődő fény annál nagyobb polarizációfokú [54, 55]. Mivel a vízirovarok többségének nincs vörösrész érzékeny fotoreceptora, ezért várhatóan a piros tálcákról visszaverődő fényt a dán kérészek ugyanolyan



1.2. ábra. A nyugati hídfőnél húzódó száraz, árnyékos aszfaltút (A), valamint az 1. csapdázós kísérletben használt olajtálca (D) és a 2. kísérletben alkalmazott műanyag lap (G) színes fényképei, továbbá a spektrum zöld (550nm) tartományában képalkotó polarimetriával mért polarizációfokának (B, E, H) és polarizációirányának (C, F, I) mintázatai a dán kérész rajzási időszakában. A fehér nyilak a visszavert fény polarizációirányát mutatják.

látják, mintha azok feketék volnának. Fontos, hogy az út szélén lévő csapdákat könnyen felismerjék és időben kikerüljék a sofőrök és kerékpárosok, hiszen az úton autós és kerékpáros forgalom is van. Ezért, ha a piros tálcák hasonlóan vonzzák a kérészeket, mint a feketék, akkor piros tálcák használata javasolt. Ahhoz, hogy összehasonlítsuk a kérészek piros és fekete felületekhez való vonzódásának mértékét, 1 m × 1 m-es piros és fekete fém felületeket használtunk. A piros és fekete autók karosszériájához optikailag hasonló fémlapokat egymástól 2 méterre, a hídtól pedig 5 méterre helyeztük ki, és a helyhatás kiküszöbölésére 10 percenként felcseréltük őket. A kérészrajzás ideje alatt a lapokat 5 percenként lefényképeztük, majd a laborban a fényképeken megszámoltuk a rájuk leszállt, és az azokat megközelítő kérészeket. 7 nap alatt, 2014. május 14. és június 14. között összesen 96 fénykép készült.

1.2.4. Képkalkotó polarimetria

A vizsgált aszfaltútszakaszról, olajtálcákról, fényes fekete tesztfelületekről, valamint vízzel töltött tálcákról visszaverődő fény polarizációs mintázatát képkalkotó polarimetriával mértük a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában [55, 56]. A színes tesztfelületes kísérletben használt fényes fekete és piros fém felületek polarizációs mintázatát Kriska és munkatársai [7] elemezték.

1.2.5. Statisztikai elemzés

A terepkísérletekben megfigyelt leszállások, olajtálcás fogások és tojáscsomók számát χ^2 homogenitás teszttel elemeztük. A statisztikai elemzésekhez az R Statisztikai programot [57] használtuk.

1.3. Eredmények

A vizsgált területen a dán kérészek rajzása a patak közvetlen környezetében 19:00 és 20:00 óra között kezdődik, a rajzásban néhány száz egyed vesz részt, amelyek a rajzás során rendszeresen, néhány másodpercre megérintik a vízfelszínt. Amint a nőstények megkezdték kompenzációs repülésüket a patak felett 1–3 méteres magasságban, a híd 500–1000 méteres körzetében az aszfaltút felett is megjelentek.

1.1. táblázat. Az 1. csapdázós terepkísérlet során fogott dán kérészek száma. Az olajtálcák a hídfőtől 20, 40 és 60 méter távolságra voltak kihelyezve.

dátum (2014)	1. csapda (20 m)		2. csapda (40 m)		3. csapda (60 m)	
	nőstény	hím	nőstény	hím	nőstény	hím
május 22.	0	0	0	0	0	0
május 23.	6	0	1	0	0	0
május 25.	11	0	2	0	0	0
május 26.	14	0	6	0	0	1
május 27.	18	0	8	0	2	0
május 29.	12	0	3	0	0	0
május 30.	9	0	2	1	1	0
június 1.	13	1	3	0	0	0
június 2.	5	1	4	0	0	0
június 4.	3	0	0	0	1	0
június 6.	0	0	0	0	0	0
össz.:	91	2	29	1	4	1
össz.:	93 (72,66%)		30 (23,44%)		5 (3,90%)	

Az 1. csapdázós kísérletben a repülő kérészek szemmel láthatóan vonzódtak az olajtálcákhoz, csupán néhány egyed hagyta azokat figyelmen kívül, és folytatta az aszfaltút által eltérített kompenzációs repülését az út fölött. Minél távolabb volt az olajtálca a hídtól, annál kevesebb kérészt fogott. A hídfőtől 20, 40 és 60 méterre lévő olajtálcák 93, 30 és 5 kérészt fogtak (1.1. táblázat, 1.1. D ábra). A statisztikai teszt alapján ez szignifikáns különbség ($\chi^2 = 96,39$, $df = 2$, $p < 0,0001$). A csapdázott kérészek $124/128 \approx 97\%$ -a nőstény volt.

A 2. csapdázós kísérletben a tesztfelületekre leszállt kérészek nemét nem volt lehetőségünk megállapítani, de az 1. csapdázós kísérlet eredményeiből arra következtettünk, hogy az egyedek nagyrészt nőstények voltak. A 2. terepkísérlet során számolt landolások és tojáscsomók száma az 1.2. táblázat tartalmazza. A tesztfelületek hídtól való távolságának függvényében a leszállások száma szignifikáns különbséget mutat (nyugati oldal: $\chi^2 = 17,37$, $df = 2$, $p < 0,0002$, keleti oldal: $\chi^2 = 17,89$, $df = 2$, $p < 0,0002$), azonban a lerakott tojáscsomók száma csupán a hídtól keleti irányba kihelyezett felületeknél mutatott szignifikáns különbséget (nyugati oldal: $\chi^2 = 4,19$, $df = 2$, $p = 0,12$, keleti oldal: $\chi^2 = 10,9$, $df = 2$, $p < 0,05$). A hídtól mindkét irányban a híd közelében nagyobb volt a landolások és a lerakott tojáscsomók száma (1.2. táblázat és 1.1. D ábra). A rajzás első felében csupán leszállásokat láttunk, petézést csak a rajzás végéhez közeledve észleltünk.

A színes tesztfelületes kísérlet során készített fényképeken a fényes fekete felületen 46, míg a piroson 60 dán kérészt számoltunk. Ez nem bizonyult szignifikáns különbségnek ($\chi^2 = 1,8491$, $df = 1$, $p = 0,1739$), a fekete és a piros felület hasonlóan vonzotta a rajzó, nőstény dán kérészeket.

A képalkotó polarimetriával mért mintázatokból (1.2. ábra) megállapítható, hogy az olajtálcák, a fényes fekete tesztfelületek és az aszfaltút vízszintesen poláros fényt (polarizációirány: $85^\circ < \alpha < 95^\circ$) reflektáltak, azonban a tesztfelületek polarizációfoka jóval magasabb volt, mint az aszfaltút polarizációfoka ($d_{\text{műanyag felület}} = 80,1\% \pm 7,5\%$, $d_{\text{olajtálca}} = 89,2\% \pm 2,7\%$, $d_{\text{aszfaltút}} = 13,2\% \pm 7,9\%$).

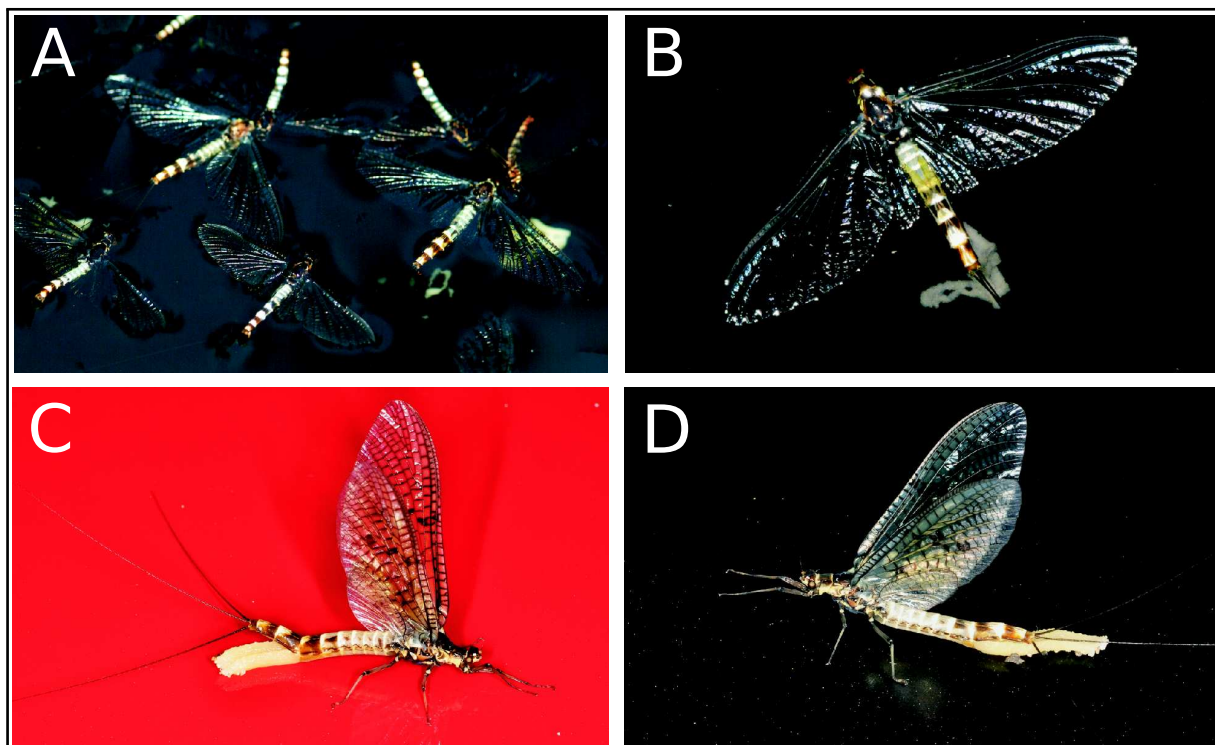
1.2. táblázat. A 2. csapdázós terepkísérletben, a fényes fekete tesztfelületre leszállt kérészek és az oda lerakott tojáscsomók száma (az utóbbi zárójelben). A tesztfelületek a hídfőtől nyugati és keleti irányba 0, 20 és 40 méter távolságra voltak kihelyezve.

dátum (2016)	nyugatra			keletre		
	1. csapda (0 m)	2. csapda (20m)	3. csapda (40 m)	1. csapda (0 m)	2. csapda (20m)	3. csapda (40 m)
június 2.	1 (0)	3 (0)	3 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
június 3.	11 (1)	10 (0)	6 (2)	12 (0)	10 (0)	4 (1)
június 4.	15 (14)	19 (6)	8 (6)	23 (13)	19 (6)	12 (0)
június 5.	21 (1)	22 (1)	2 (1)	16 (0)	9 (0)	0 (0)
össz.:	48 (16)	54 (7)	19 (9)	51 (13)	38 (6)	16 (1)

1.4. Eredmények értékelése

A dán kérészek rendellenes, aszfaltút fölötti kompenzációs repülésének az útról visszaverődő, vízszintesen poláros fény volt a kiváltó oka (1.2. A–C ábrák), ami a hídnál megtéveszti a vizet követő rovarokat, és út fölötti, rendellenes kompenzációs repülést vált ki. Az útról visszaverődő fény alacsony polarizációfokú ($d \approx 20\%$), körülbelül 3 méter széles, egybefüggő, vizuálisan vonzó sávot biztosít a repülő polarotaktikus kérészeknek. Az olajtálcás kísérlet fogási adataiból (1.1. ábra és 1.1. táblázat), valamint a 2. csapdázós kísérlet leszállások és tojáscsomók számaiból (1.2. táblázat) arra következtetünk, hogy a kérészeket a hídnál térítette el az aszfaltút poláros jele, ahol az út nagyon közel van a patakhoz, és az út kanyargása megtévesztően hasonlít egy patakéhoz. A dán kérészek rajzása a patak közvetlen környezetében zajlik, azonban csupán a nőstény kérészek végeznek kompenzációs repülést, ezért csak őket téríti el az aszfaltút a paktától. Feltételezhető, hogy a hídnál eltérített nőstény kérészeket az út képes elvezetni távoli, erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületekhez, amelyek kiváltják a polarotaxis által vezérelt petézést. A következtetés meg is fordítható: mesterséges, erősen és vízszintesen polarizáló felületek (mint például fényes, sötét színű parkoló autók) az aszfaltút segítségével nagy távolságból magukhoz csalhatják a petezésre készülő kérészeket.

A 2. csapdázós kísérletben, a rajzás első felében a kérészek csak érintgették a tesztfelületeket, és ritkán az aszfaltot is. Feltételezhető, hogy ez az érintés a patak folyásirányának meghatározására szolgál, mert petezésük előtt a nőstény dán kérészek elsődleges feladata a kompenzációs repülés, azonban ezt a feltételezést a jövőben még igazolni szükséges. Ahogy telt az idő, a rajzás későbbi szakaszában a nőstény kérészek egyre gyakrabban szálltak le a tesztfelületekre, ahol a vízszintesen poláros fényinger kiváltotta petezésüket (1.3. C, D ábrák). Amennyiben a nőstény kérész nem a vízbe rakja a tojáscsomóját, az hamar kiszárad, a tojások elpusztulnak. Mivel a kérészek életük során csupán egyszer petéznek, és a tojáscsomók 6–8 ezer tojást tartalmaznak [58, 59], a kikelésre alkalmatlan felületre történő petezés negatív hatással van a dán kérészek utódgenerációjára. A dán kérész mellett további kérészfajok is petéztek a tesztfelületekre, mint például *Rhithrogena semicolorata* (Curtis, 1834), *Baetis rhodani* (Pictet, 1843) és *Epeorus silvicola* (Pictet, 1865), azonban ezen fajok nem zavarták a kísérletek során az adatgyűjtést, mivel a dán kérész jóval testesebb az előbb felsoroltaknál. További különbség, hogy a dán kérészzel ellentétben ezek a fajok nem végeznek kompenzációs repülést, feltételezhetően a peték lesodródását a lárvák a folyásiránnyal szembeni migrációval kompenzálják [60].



1.3. ábra. Dán kérészek a tesztfelületeken. **A:** Nőtény egyedek az 1. kísérletben használt olajtálcában. **B:** Nőtény kérész és tojáscsomója az olajtálcában. **C, D:** Petéző nőstények a színes tesztfelületes kísérletben használt fényes piros (**C**) és fekete (**D**) tesztfelületeken.

Két fő oka volt, hogy a 2. csapdázós kísérletben eltérő tesztfelületeket használtunk, mint az első kísérletben:

- A száraz műanyag felületek kezelése sokkal egyszerűbb, mint a folyadékkal töltött csapdáké, valamint
- a száraz műanyag lapok nem ölték meg a hozzájuk vonzódó kérészeket.

Természetesen a 2. kísérletben a száraz felületek miatt előfordulhatott pszeudoreplikáció, habár ennek mértéke nem lehetett túlságosan nagy, mert a kompenzációs repülést végző dán kérészek az aszfaltutat követve eltávolodtak a kísérleti helyszíntől. Ennek a kísérletnek az volt az elsődleges célja, hogy megállapíthassuk, a nőstény dán kérészek a hídtól mindkét irányba folytatják-e az eltérített kompenzációs repülésüket.

Annak érdekében, hogy megmutassuk, az eltérített nőstény kérészek petéi összegyűjthetők és visszaszállíthatók a patakba, 2014. május 18-án egy próbakísérlet során egy fekete műanyag tálcát (75 cm × 75 cm) patakvízzel töltöttünk fel, és a hídtól 20 méterre kihelyeztük az aszfaltút szélére, majd figyeltük a kérészek viselkedését. Számos nőstény dán kérész szállt le, majd petézett a vízfelszínen. A 2. kísérlettel összehasonlítva ebben a kísérletben jelentősen eltért a nőstény kérészek viselkedése a leszállást követően, ugyanis a vízfelszínen azonnal elkezdtek petézni. Ez a különbség valószínűleg annak tudható be, hogy a száraz műanyag felület csupán optikailag volt hasonló a vízhez, és a landolás után nem biztosította a többi olyan ingert, ami

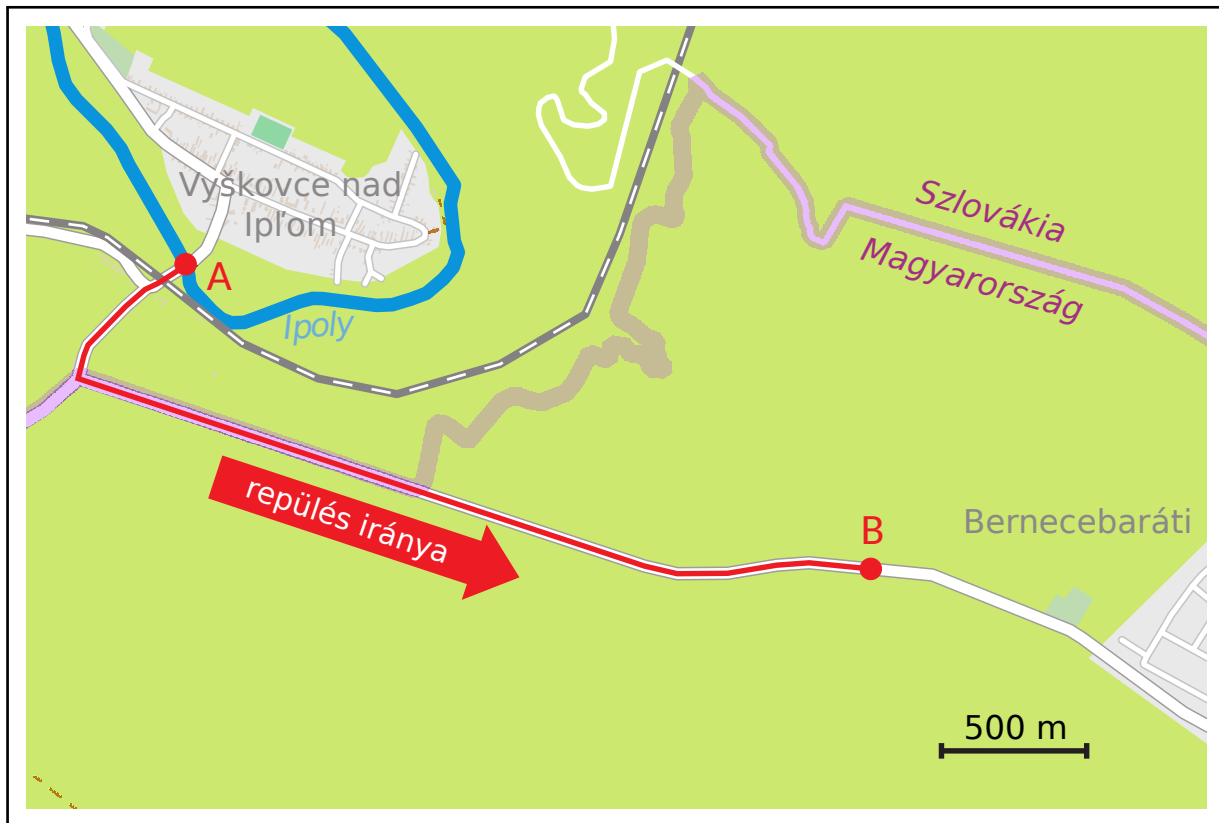
a petezéshez szükséges és a víz érintésekor biztosított. A vízzel töltött műanyag tálca optikai tulajdonsága hasonló volt az 1. csapdázós kísérletben használt olajtálcáéhoz. A próbakísérletünk bizonyította, hogy az aszfaltút által eltérített nőstények petéi összegyűjthetők az út szélére kihelyezett fekete vizeztálcákkal. A rajzás végeztével a vizeztálcákból a patakba moshatóak a peték, ahova természetes körülmények között kerülnének.

A színes tesztfelületes kísérlet eredménye azt mutatja, hogy a piros és fekete felületek hasonló mértékben vonzzák a nőstény dán kérészeket. Ebből következik, hogy nem csupán a fekete, de a piros vizeztálcák is alkalmasak csapdának, amellyel megmenthető az út fölött repülő kérészek utódgenerációja. A piros csapda előnyösebb, ugyanis az úton közlekedők jóval korábban észreveszik azt, mint a feketét. Ez fontos szempont, ugyanis a vizsgált területen az aszfaltúton autós és kerékpáros forgalom is van.

2015. június 10-én 20:45 és 21:15 óra között az Ipoly közelében (48°03' É, 18°52' K) lehetőségünk volt eltérített kompenzációs repülést egy másik fajnál is megfigyelni. Számos közönséges tarka kérész (*Ephemera vulgata* Linnaeus, 1758) az Ipolyt keresztező hídtól távolodva repült az út fölött 3–5 méter magasságban. Az úton még a hídtól 3200 méterre is láttunk repülő kérészeket (1.4. ábra). Ha néhány kilométeren belül még egy híd nem keresztezi újból a folyót, akkor a kérészek folyóba petézési esélye rendkívül alacsony, mivel nem tudnak visszatalálni a folyóhoz. A kis hidak egyértelműen elősegítik a kérészek eltérítését, ugyanis ezeknél az aszfaltút igen közel van a vízfelszínhez, ezért az könnyebben kerül a kérészek látómezejébe, valamint a patak és a keskeny, jellemzően egysávos út szélessége hasonló mérettartományban van, ami szintén elősegítheti a nőstény kérészek eltérítését. Az 1. és 2. csapdázós kísérleteink eredményei is megerősítik ezt a feltételezést, ugyanis a hídhöz közelebbi csapdák több kérészt fogtak, mint az attól távolabbiak (1.1. ábra).

A dán kérész és a közönséges tarka kérész mellett a folyókban élő tiszavirág (*Palingenia longicauda* Olivier, 1791) és dunavirág (*Ephoron virgo*) nőstényei szintén végeznek kompenzációs repülést a pázásukat követően, és szintén megfigyelhetőek a hidakon vezető aszfaltutakon, de ezen fajok nem követik az utat, a folyótól nem távolodnak el. Ennek az lehet az oka, hogy az aszfaltút jelentősen keskenyebb, mint az élőhelyüket biztosító folyó [61]. A tiszavirággal ellentétben a dunavirág naplementekor kezdi a rajzását, a kompenzációs repülését pedig sötétben végzi. Ezért, ha a híd ki van világítva, akkor a pozitív fototaxisnak köszönhetően a hídlámpáknál nagy tömegben gyűlhetnek össze a dunavirág nőstények. Miután kimerültek, a lámpák alatti aszfaltútra rakják tojásaikat [10, 62] (lásd még: 2. fejezet).

Terepkísérleteink és megfigyeléseink megmutatták, hogy kisméretű, erősen és vízszintesen polarizáló foltok egy nagyobb, összetett ökológiai csapda részeként nagy tömegben képesek csapdázni a polarotaktikus, vizet kereső rovarokat. Munkánkban a dán kérész rajzására és petezésére összpontosítottunk, és eredményeink alapján javasoltunk egy egyszerű módszert a szóban forgó ökológiai csapda természetvédelmi kezelésére. További vizsgálatok szükségesek



1.4. ábra. Azon terület térképe, ahol az eltérített közönséges tarka kérészeket (*Ephemera vulgata*) megfigyeltük. Az „A” pont jelzi a hidat, az eltérített kérészek forrását, a „B” pont pedig azt a legtávolabbi helyet, ahol még megfigyeltük a repülő kérészeket. Az „A” és a „B” pont közti távolság 3200 méter.

azonban ahhoz, hogy kvantifikáljuk ezen csapda vízirovar-populációkra kifejtett negatív hatását. Az összetett optikai ökológiai csapdákkal kapcsolatos kutatások a kezdeti szakaszban járnak, ezért különösen fontosak az olyan jellegű további vizsgálatok, amelyek az ehhez hasonló összetett ökológiai csapdák kialakulását és hatásait tanulmányozzák.

1.5. A témában megjelent publikációm

A fejezet Egri és munkatársai [63] cikke alapján készült, amihez a következő volt a hozzájárulásom:

- koncepció kialakítása,
- kísérletek előkészítése és kivitelezése,
- eredmények kiértékelése,
- kézirat írásában való részvétel.

- [63] EGRI Á., PERESZLÉNYI Á., FARKAS A., HORVÁTH G., PENKSZA K., KRISKA Gy. How can asphalt roads extend the range of in situ polarized light pollution? A complex ecological trap of *Ephemera danica* and a possible remedy. *Journal of Insect Behavior* 30(4) (2017), pp. 374–384. DOI: 10.1007/s10905-017-9623-3.

2. fejezet

A dunavirág (*Ephoron virgo*) túlélési esélyeinek növelése hidak környezetében

2.1. Bevezetés

Számos újsághír és esettanulmány említi, hogy a kivilágított hajók, illetve folyók fölötti hídlámpák komoly veszélyt jelentenek az éjjel rajzó kérészekre, mint például a dunavirágra (*Ephoron virgo*) [10]. Hídlámpáknál kialakuló tömeges kérészrajzást megfigyeltek már többek között a Dunán [10, 64, 65], a Mississippin [66], a Rajnán [67], a Majnán [68], a Kura folyó hídjánál Ardahanban [69], az Ebró folyó hídjánál Tudelában [70], valamint a Susquehanna folyón Pennsylvaniában [71]. Száz és munkatársai [10] arra a következtetésre jutottak, hogy a kivilágított hidaknál a hagyományos ökológiai (polarizálatlan) fényszennyezés és a poláros fényszennyezés interakciójaként összetett ökológiai csapda alakul ki: először a híd (annak árnyéka és tükörképe a vízben) optikai gátat alkot, amely megállítja a kompenzációs repülésüket végző nőstény kérészeket, mivel a hídarányék és a híd tükörképe megszakítja a vízfelszín jelző folytonos, vízszintesen poláros jelet. Ezt követően a hídnál feltorlódnak a pozitív fototaxisuknak köszönhetően felrepülnek a hídlámpákhoz. Végül ahelyett, hogy a folyóba raknák tojáscsomóikat, pozitív polarotaxisuk [1, 4] miatt a nőstény kérészek a száraz aszfaltúra petéznek (2.1. ábra). Szemtanúk beszámolója szerint tömegrajzás során a látótávolság jelentősen lecsökkenhet a hídon és a kérésztetek síkossá, veszélyessé tehetik az utat [66, 71].

Száz és munkatársai [10] azonos intenzitású polarizálatlan és 100%-osan vízszintesen poláros fényű lámpákkal vizsgálták a dunavirág polarotaxisát, és azt találták, hogy a vízszintesen poláros fény 5–10-szer annyi kérészt vonzott, mint a polarizálatlan. Ez utóbbi eredmény alapján merült fel annak a lehetősége, hogy vízszintesen poláros fényű védőlámpák kihelyezésével a lámpákhoz repült kérészek a vízfelszínhez közel tarthatók, ezzel elérhető, hogy a nőstény kérészek a vízbe rakják tojásaikat. Farkas és munkatársai [72] kimutatták, hogy a polarizálatlan fényforrás 1,2-szer vonzóbb a kérészek számára, mint a polarizált, ha a poláros fényforrás intenzitása 0,43-szorosa



2.1. ábra. A 2015. augusztus 5-i rajzás másnapján nőtény dunavirág tetemek ezrei borítják az úttest melletti csatornát a rábahídvégi hídnál. A dunavirág kompenzációs repülésében kizárólag nőtény kérészek vesznek részt [10].

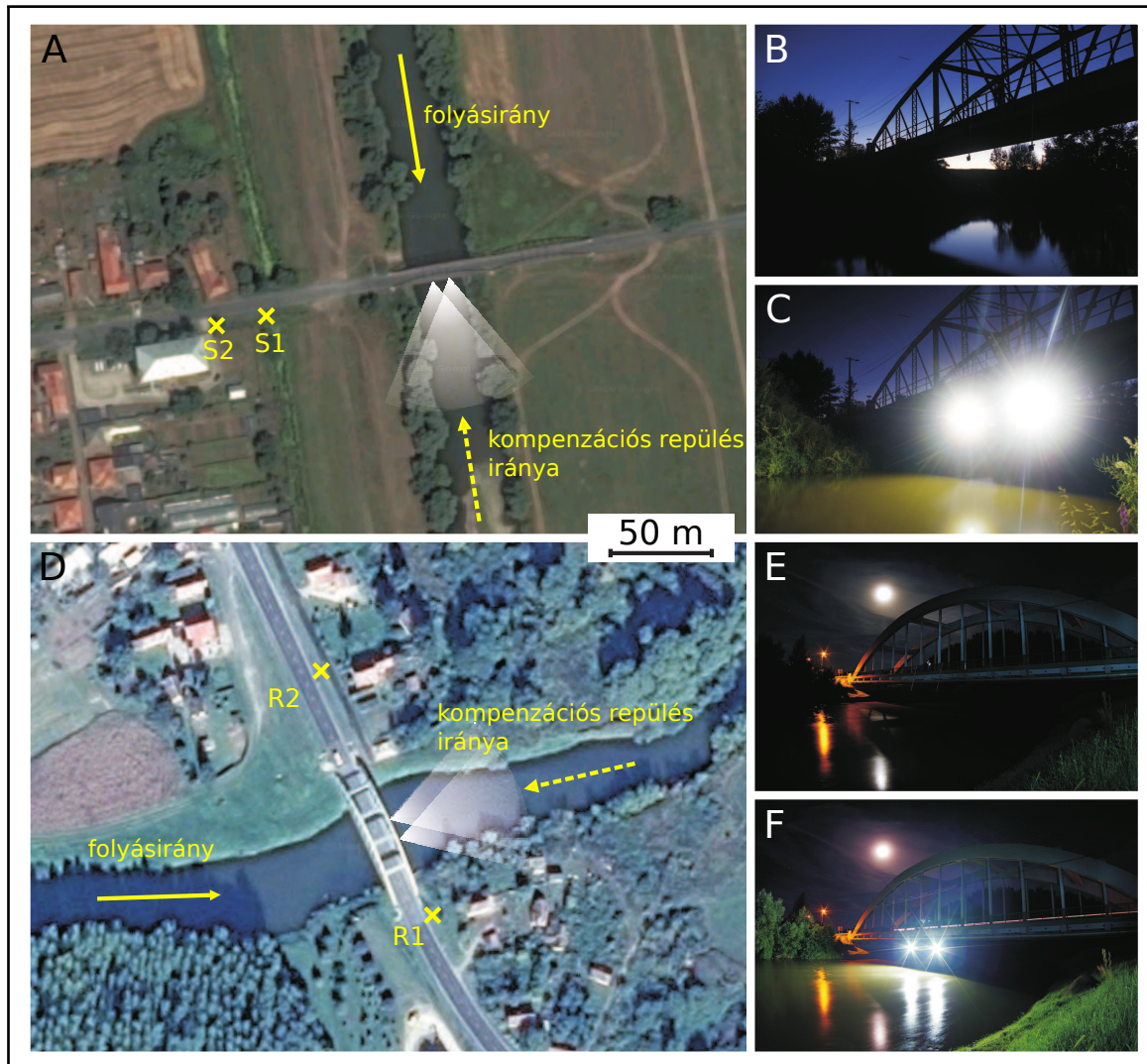
a polarizálatlannak. Ez alapján a kérészek csalogatásához nem érdemes vízszintesen poláros fényforrást használni, hiszen a polárszűrő felezi a fényintenzitást, így pedig alig lesz vonzóbb, mint a polarizálatlan fényforrás.

Ebben a fejezetben egy egyszerű természetvédelmi módszer tesztelésének kísérleti eredményeit mutatom be, amellyel jelentősen növelhető a dunavirág utódgenerációjának túlélési esélye a kivilágított hidak közelében. A kísérletek során polarizálatlan fényforrással működő fénysorompót használtunk, amely várakozásunk szerint a folyó vízfelszíne fölött magához vonzza a nőstény kérészeket, ezzel megakadályozza, hogy azok a folyón kívül, mesterséges felületekre petézzenek.

2.2. Anyag és módszer

Egy 2015. augusztus 6-án végzett előkísérletet követően két, egymással megegyező kísérletet végeztünk 2016-ban a Duna két mellékfolyóján, az Ipolyon és a Rábán. A dunavirág rajzása egy adott folyószakaszon körülbelül egy hétig tart, azonban a rajzás intenzitása előre nem megjósolható, vagyis a rajzó kérészek száma nem következtethető ki a korábbi napok rajzási intenzitásából. Ezért legalább 2–3 estét a területen kellett töltenünk egy sikeres kísérlet elvégzéséhez. Az 1. kísérletet 2016. augusztus 9-én, a Letkést és Szalkát összekötő Ipoly hídnál (47°53'10" É, 18°45'46" K, 2.2. A–C ábrák) végeztük, míg a 2. kísérletre öt nappal később, az 1. kísérlet helyszínétől közel 200 km-re Rábahídvégnél, a Rába hídján (47°03'48" É, 16°44'45" K, 2.2. D–F ábrák) került sor. Egy évvel korábban az előkísérlet helyszíne szintén Rábahídvég volt. A helyi lakosok a korábbi években mindkét helyszínen megfigyelték, hogy a dunavirág kérészek nagy tömegben repültek a hídlámpákhoz, majd kimerülve az aszfaltúton próbáltak petézni, végül elpusztultak (2.1. ábra). Korábban Száz és munkatársai [10] ugyanezt figyelték meg a Dunán, valamint Kazanci és Türkmen [69] a Kura folyón, Törökországban.

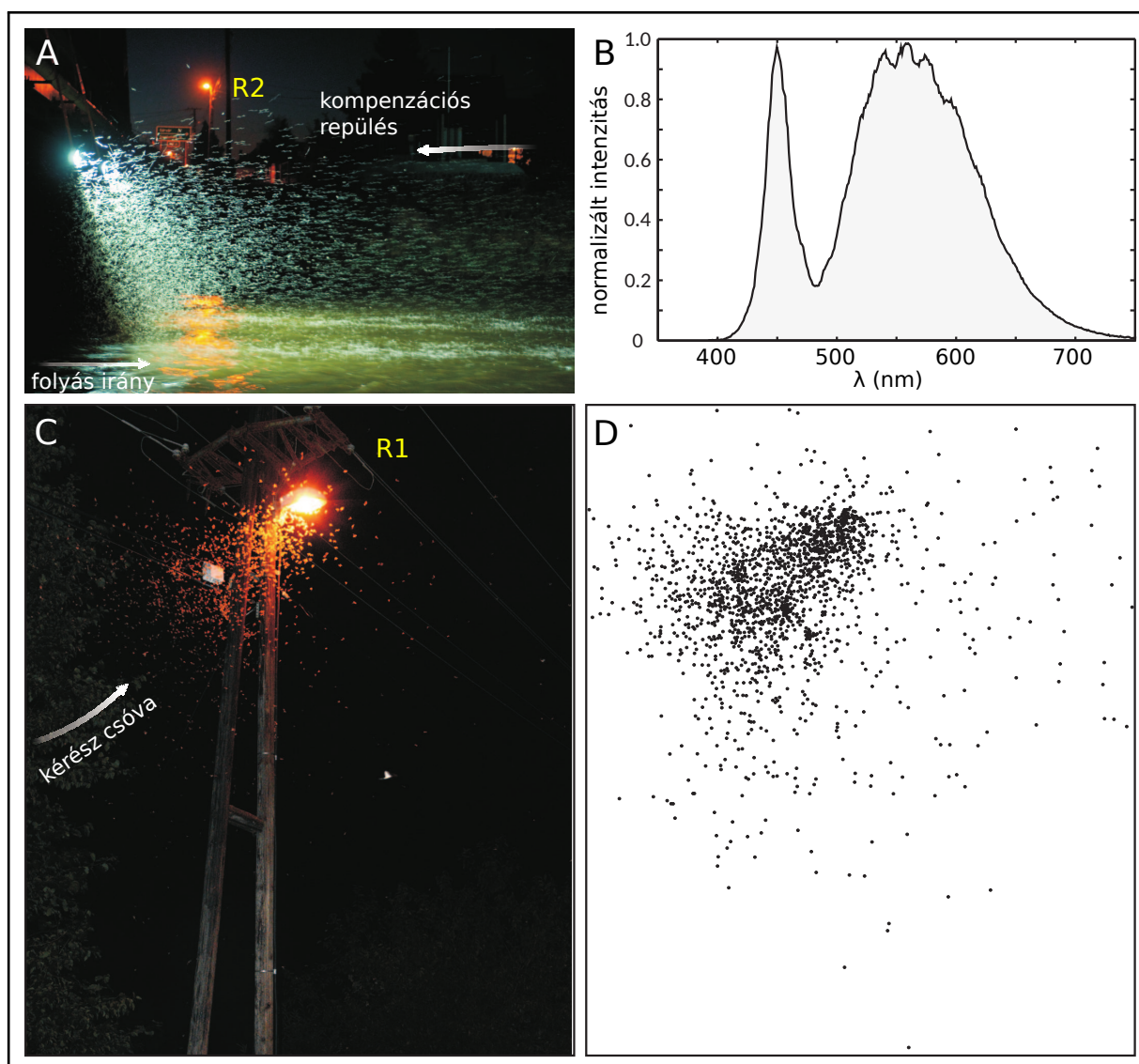
Naplemente előtt mindkét kísérleti helyszínen két, akkumulátorral üzemelő, 50 W teljesítményű, 4000 lumenes, hideg fehér fényű (6000 K) LED lámpát (a későbbiekben fénysorompó) lógattunk le a híd korlátjáról, a híd aszfaltútjának szintjétől 3 méter mélyre. A fénysorompó a kompenzációs repüléssel szembe nézett (2.2. ábra). A kísérletekben használt LED lámpák spektrumát Ocean Optics STS-VIS spektrométerrel mértük ki. A lámpák spektruma bimodális, 450 nm-es és 550 nm-es csúcsokkal (2.3. B ábra). A fénysorompók a folyó közepén, egymástól 8 méterre voltak kihelyezve. Ezzel párhuzamosan két, állványra szerelt tükröreflexes kamerát helyeztünk ki a folyóhoz legközelebbi hídlámpákhoz (2.2. A, D ábrák). Ahogy besötétedett, zseblámpák fényében figyeltük a folyót, és amint az első dunavirág imágók megjelentek, bekapcsoltuk a fénysorompókat. Később, amikor a fénysorompó lámpáinál a kérészek nagy számban összegyűltek, elkezdtek fényképezni a hídfőknél elhelyezkedő, a vízhez legközelebb álló utcai lámpákat. A két fényképezőgép egy-egy lámpát fényképezett. A fényképezőgépek egyszerre



2.2. ábra. A terepkísérletek helyszínei. A: műholdkép a terepkísérletek helyszínéről Szalkán (Szlovákia). „S1” és „S2” a hídhöz legközelebbi utcalámpák. B, C: a kísérlet helyszínétől szolgáló Ipoly-híd a fénysorompó kikapcsolt (B) és bekapcsolt (C) állapotában. D: műholdkép a rábahídvégi terepkísérlet helyszínéről. „R1” és „R2” a folyóhoz legközelebbi hídlámpák helyzetét mutatja. E, F: a rábahídvégi híd a fénysorompó kikapcsolt (E) és bekapcsolt (F) állapotában. A műholdképek forrása: Google Maps.

exponáltak, a felvételeket körülbelül 20 másodpercenként készítettük. Az Ipolynál 276, míg a Rábánál 352 fénykép készült.

Minden nap a dunavirág rajzás körülbelül egy órán át tartott és 21:00 óra (nyári időszámítás) körül kezdődött. Ezalatt háromszor kapcsoltuk le a fénysorompókat 3–6 percre, hogy demonstráljuk, a kérészek nagy tömegben csak akkor hagyják el a folyót (illetve a fénysorompót) és esnek csapdába az utcai lámpáknál, amikor azok nem világítanak. Később, a fényképek kiértékelése során manuálisan számoltuk le a fényképeken lévő kérészeket. Ez a módszer elfogadható, hiszen azon kérészek, amelyeket az utcai lámpák magukhoz vonzottak, már nem voltak képesek visszatérni a folyóhoz, a lámpák alatt pusztultak el. A 2.3. C ábra mutat egy mintaképet, amelyen 1620



2.3. ábra. Dunavirágrajok a lámpáknál a kísérletek során. **A:** a fénysorompónál kialakult kérészraj a Rábánál 2016. augusztus 14-én 21:13 perckor. „R2” a 2.2. D ábrán, hasonlóan jelölt utcai lámpa. **B:** a fénysorompók LED fényforrásának spektruma. **C:** az R1 utcai lámpa Rábahídvégen a körülötte repkedő dunavirág kérészekkel, miután először lekapcsoltuk a hídra kihelyezett fénysorompót. **D:** az 1620 felismert dunavirág helyzete a C ábra fényképén.

dunavirág egyedeket regisztráltunk. Habár a fényképek készítésekor vakut használtunk, valamint az utcai lámpák is megvilágították a kérészeket, minden bizonnyal voltak kérészek, amelyek nem voltak kellőképpen megvilágítva, ezért a kiértékelés során nem ismertük fel őket. Továbbá a sűrű rajokban a kérészek kitakarhatták egymást. Következésképpen a lámpáknál összegyűlt kérészek számát alulbecsülhettük. Ez azonban nem okozott problémát, mert a lámpáknál lévő kérészek számának dinamikájára voltunk kíváncsiak, nem pedig a pontos számukra.

2.3. Eredmények

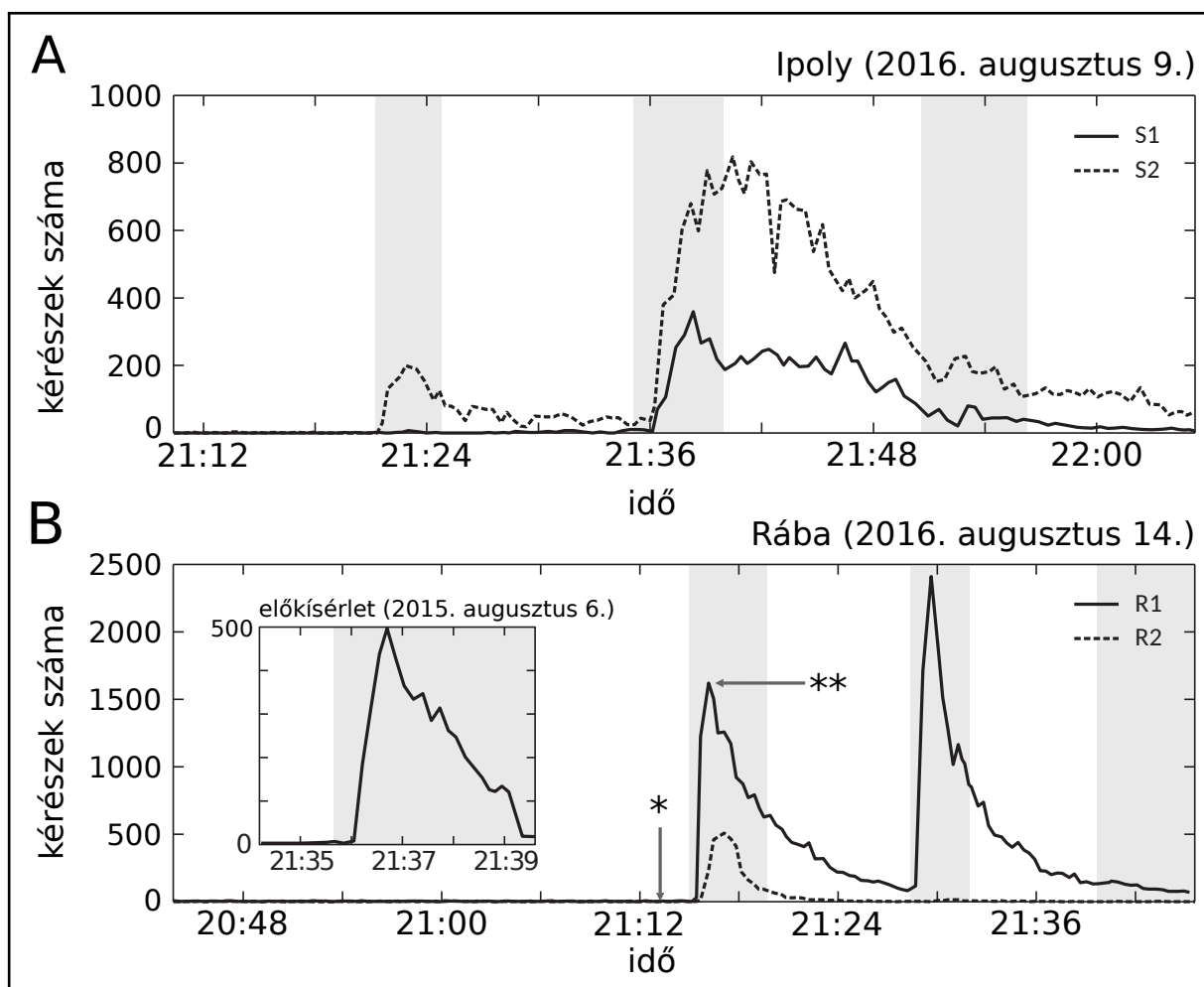
Kísérleteink során két különböző helyszínről gyűjtöttünk adatokat, és mindkét esetben ugyanazt az eredményt kaptuk. A kiértékelés során 32 498 dunavirág kérészt azonosítottunk az Ipolynál készült fényképeken, míg 47 072 kérészt a Rábánál készülteken. A 2.4. ábra mutatja a kérések számát az idő függvényében a két legközelebbi hídlámpánál, az Ipolynál és a Rábánál. Az ábrán a szürke területek azt az időintervallumot jelölik, amikor a fénysorompó ki volt kapcsolva. A grafikonok legszembetűnőbb jellegzetessége, hogy a lámpáknál repkedő kérések száma jelentősen megugrott, amikor kikapcsoltuk a fénysorompót. Eszerint annak ellenére, hogy a hídnál igen nagy tömegben torlódtak fel a nőstény kérések (2.3. A ábra), azok nem hagyták el a folyót mindaddig, amíg a fénysorompók világítottak. Ahogy a fénysorompókat lekapcsoltuk, a kérések elhagyták a folyót és megjelentek az utcai lámpáknál (2.3. C, D ábrák). Miután a kérések ellepték az utcai lámpát, idővel a számuk a vizsgált lámpánál lecsökkent, ahogy a 2.4. ábra görbéin látszik. Ennek két oka van:

- Ahogy az idő telt, a kérések kimerültek, ezért leszálltak az aszfaltútra, és az árokba (2.1. ábra).
- A kérések egy része továbbszállt a következő lámpához, ezért a hídhöz legközelebb eső első lámpánál egyre kevesebb kérész maradt.

Ahogy a 2.4. ábra mutatja, a harmadik lekapcsolást követően egyik kísérleti helyszínen sem növekedett a kérések száma a közeli utcai lámpáknál. Ennek az volt az oka, hogy a rajzás a végéhez közeledett, a folyó felől már nem volt elegendő kérész utánpótlás. Mindkét kísérleti helyszínen észrevehető különbség volt a két legközelebbi utcai lámpánál megjelenő kérések számában. Az Ipolynál a folyóhoz közelebbi lámpa (S1) fényintenzitása jóval csekélyebb volt a második lámpához viszonyítva, ezért az előbbi sokkal kevesebb kérészt vonzott. A Rábánál lévő lámpák esetében a két legközelebbi lámpa (R1, R2) fényintenzitása közel azonos volt. Itt azonban az R1 lámpa közelebb van a folyóhoz, ezért az jelentősen több kérészt vonzott, mint az R2 lámpa (2.2. és 2.4 ábrák).

A 2.4. B ábrába beágyazott grafikon az egy évvel korábbi, 2015. augusztus 6-i előkísérletben megfigyelt kérések számát mutatja az 5 perces mérési periódus alatt. A grafikonból leolvasható, hogy ugyanazt a jelenséget tapasztaltuk, mint a későbbi kísérletek során: a fénysorompónak köszönhetően a nőstény dunavirágok a kompenzációs repülésük során a folyót csak akkor hagyták el és repültek az R1 lámpához (2.2. D ábra), amikor a fénysorompó világítását lekapcsoltuk.

Habár a 2.4. B ábra kellőképpen reprezentatív, a fényképek mellett videófelvételeket is készítettünk a fénysorompó kérészvonzó hatékonyságáról ([73] Supplementary Electronic Material, M1–M3 videók). Az M1 videó a 2015. augusztus 6-án végzett előkísérlet legfontosabb részleteit mutatja. Az M2 és M3 videók az Ipolyon és a Rábán, 2016-ban végzett kísérletekről mutat jeleneteket. Mindhárom videón megfigyelhető egy olyan jelenség is, amely a lámpáknál készített



2.4. ábra. A dunavirág kérészek száma az idő függvényében a vizsgált lámpáknál. A folytonos vonal a folyóhoz közelebbi lámpánál (S1, R1), míg a szaggatott vonal a hídtól távolabbi lámpánál (S2, R2) repkedő kérészek számát mutatja az Ipolynál (A) és a Rábánál (B). A B ábrában a beágyazott ábra a Rábánál, az előkísérlet során az R1 lámpa körüli kérészek számát mutatja az idő függvényében. Szürke háttér: a fénysorompók nem világítottak. *: a 2.3. A fénykép ekkor készült. **: a 2.3. C fénykép ekkor készült.

fényképek kiértékeléséből nem következik. Amikor a fénysorompó előtt feltorlódott kérészraj elért egy kritikus tömeget, a raj alja elérte a vízfelszínt, majd a vízbe esett kérészeket elsodorta a folyó. A fénysorompónak köszönhetően ezek a nőstény kérészek nem tudták elhagyni a folyót, így a vízbe hullva biztosan a folyóba petéztek.

2.4. Eredmények értékelése

Ebben a fejezetben egy egyszerű módszert mutattam be, amellyel jelentősen csökkenthető az éjszakai világítás negatív hatása a kivilágított hidak közelében az éjjel rajzó kérészpopulációkra. Habár az éjszakai világítás általában negatív hatású az éjjel aktív rovarokra, az általunk használt

fénysorompó képes volt megvédeni az éjszaka rajzó dunavirág egyedeket. Eredményeink azt sugallják, hogy a többi folyóvízi, éjjel rajzó és pozitív fototaxissal rendelkező kérészfaj utódgenerációja is megmenthető ezzel a módszerrel. Ezen felül más, éjszaka vagy naplementekor aktív, elsődlegesen vízirovar (a lárva és a kifejlett állat is vízben él, ilyen például a vízibogarak többsége) és a másodlagosan vízirovarok (a lárva vízben fejlődik, azonban az imágó a szárazföldön él, ilyenek például a tegzesek (Trichoptera), és árvaszúnyogok (Chironomidae)) számos faja szintén pozitív fototaxissal rendelkezik [74], ezért a bemutatott módszerünk ezen rovarok védelmét is biztosíthatja rajzásuk (illetve bogarak esetében kolonizációjuk) során. Mindamellet, mesterséges fényforrás használata (még ha természetvédelmi célból történik is) fényszennyezésnek számít, aminek jelentős negatív hatása lehet számos egyéb, éjszaka aktív állatfajra, mint például rovarokra, halakra, madarakra vagy denevérekre. A pozitív fototaxissal rendelkező rovarok tömörülése a fénysorompóknál megváltoztathatja a velük táplálkozó állatok viselkedését. Azonban a fényszennyezés és annak negatív hatása minimalizálható azzal, ha csupán a védeni kívánt fajok rajzási időszakában van bekapcsolva a fénysorompó.

Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a nappal rajzó tiszavirághoz (*Palingenia longicauda*) hasonlóan a dunavirág is pozitív polarotaxissal rendelkezik, azaz a vízszintesen poláros fény vonzza őket [10, 75]. Éjjel, természetes körülmények között az elsődleges fényforrás a vízfelszínen tükröződő közvetlen és a légkörben diffúzan szóródó holdfény. Kompenzációs repülésükkor a nőstény kérészek a folyóról visszaverődő, vízszintesen poláros sávot követik, így tudnak a repülés során végig a folyó fölött maradni. Amint kirepülnek a folyó partjához, vagy elérnek egy hidat, a vízszintesen poláros folyosót megszakítja a parti növényzet vagy a híd árnyéka és tükörképe, amely kevésbé és függőlegesen poláros [10, 61, 72]. Így a híd, mint optikai gát képes megzavarni mind a nappal, mind az éjjel rajzó kérészek kompenzációs repülését. Ez a gát a híd alatti folyószakaszon a tiszavirág-populáció egyedszámcsökkenését és a nemek arányának megváltozását okozza [61, 76]. A dunavirág esetében azonban a helyzet végzetes, ugyanis a hídnál feltorlódó kérészeket vonzzák a hídlámpák vagy a hídhoz közel lévő utcalámpák, hiszen a fényintenzitásuk jelentősen nagyobb, mint a Hold és az égbolt által megvilágított környezet [10]. Ennek megfelelően a fénysorompó fényének erősebbnek kell lennie, mint az utcai lámpák átlagos intenzitása.

A fénysorompó megállítja a nőstény dunavirágok kompenzációs repülését, ez azonban nem okoz problémát, mert a fénysorompó nélkül sem tudnák folytatni a repülésüket, hiszen a híd árnyéka és tükörképe a folyón szintén megakadályozza a kompenzációs repülés folytatását [10, 61]. A fénysorompónak köszönhetően a kérészek nem hagyják el a folyót, a tojásaik a folyóba kerülnek, ahol kifejlődnek, és nem az utcai lámpák alatti száraz aszfaltúton száradnak ki és pusztulnak el. A fénysorompó nem növeli jelentősen a fényszennyezést, ugyanis csak kérészrajzáskor szükséges bekapcsolni. Ez a dunavirág esetében évente csupán két hét. A korábbi évek rajzási adatiból és a kérészlárvák fejlődési állapotából jósolható a rajzás kezdete, azonban

egy természetvédelmi őrnek vagy egyéb szakembernek szükséges figyelnie, hogy mikor kezdődik a rajzás. A rajzás első napjaiban még jellemzően kevés egyed repül, ezért elegendő, ha az első egyedek észlelése utáni naptól van bekapcsolva a fénysorompó. A fénysorompónak elegendő csak rajzáskor világítania, ez Magyarországon, a dunavirág esetében az este 20:30 és 22:00 óra közötti időszak. Továbbá a kísérleteink során kizárólag dunavirág kérészeket láttunk a fénysorompó körül repülni, ami azt sugallja, hogy a fénye más fajok viselkedésére nincs, vagy csak csekély mértékben van hatással. Ez azonban függ a helyszíntől, más fajösszetételnél a fénysorompó hatása jelentősebb lehet.

A dunavirág tömegrajzása évtizedeken keresztül hiányzott Közép-Európa nagyobb folyóiról, mint például a Rajnáról vagy a Dunáról. A Dunán a vízminőség javulásának köszönhetően az 1990-es években tért vissza. Fontos hangsúlyozni, hogy a szennyezett vizeknél a fénysorompó használata helyett a vízminőség javítása az elsődleges természetvédelmi feladat, azonban ha a kérészek megtelepedtek a folyóban, a fénysorompó használata javallott. A folyók újranépesítésében komoly szerepet játszanak a mellékfolyók, ezért az azokban élő kérészpopulációk hasonlóan fontosak. Ebben a védelemben komoly szerepe lehet az itt bemutatott, hidakra felszerelt fénysorompóknak.

A bevezetésben említett nagy tömegrajzások a hidak közelében annak ellenére évről évre előfordulnak, hogy az éjszakai kivilágítás évtizedek óta jelen van az adott folyószakaszon. Habár a dunavirág kompenzációs repülésének hossza pontosan nem ismert, egyes becslések szerint körülbelül 3–4 km lehet [77]. Ez alapján sejthető, hogy a folyókon igen hosszú szakaszok vannak, amelyeken a rajzó dunavirág egyedeket nem zavarja az éjszakai kivilágítás.

Az itt bemutatott módszer a kérészek védelme mellett a közlekedést is biztonságosabbá teszi, ugyanis nem alakulnak ki az úttest fölött zavaró kérészfelhők, és az úttestre leszálló kérészek nem teszik azt síkossá. Emellett a fénysorompó használatának további előnye, hogy az érdeklődő emberek megcsodálhatják a megvilágított kérészraj szépségét, amit egyébként elrejtene a sötétség.

Sikeresen teszteltünk egy olyan természetvédelmi kezelést, amely az éjszaka rajzó kérészek pozitív fototaxisát használja ki. A fénysorompók azonban semmit sem érnek, ha olyan hullámhosszon világítanak, amit a védeni kívánt kérészek nem érzékelnek. Az ideális hullámhossz elektro-retinogramm használatával kimérhető [78], a mérést azonban megnehezíti a kérész imágók rövid élettartama. Horridge [79] azt találta, hogy az *Atalophebia* (Eaton, 1881) kérészfajok szeme nagyrészt UV érzékeny, és az összetett szem laterális része leginkább a zöld (≈ 535 nm) tartományban érzékeny. A fénysorompó ideális hullámhosszának kiválasztásánál azonban azt is figyelembe kell venni, hogy az ne jelentsen az emberekre és a többi állatfajra egészségügyi kockázatot [80]. Másrészt a fénysorompónak elég fényesnek kell lennie ahhoz, hogy az utcai lámpák ne tudják elvonzani a kérészeket a fénysorompótól és a folyótól. Ez a minimális intenzitás főként a helyszíntől függ, mert többek között befolyásolja az utcai lámpák intenzitása,

a partszéli növényzet, a híd magassága, valamint a hídlámpák távolsága a fénysorompótól.

A jelen fejezetben bemutatott kísérletek legfontosabb eredménye, hogy a kompenzációs repülésüket folytató nőstény dunavirág kérészek megmenthetőek attól, hogy az utcai lámpákhoz repüljenek és az alattuk húzódó aszfaltúton kiszáradjanak és elpusztuljanak. Amikor a fénysorompóink a kísérletek alatt világítottak, a folyót lényegében nem hagyta el kérész. Eredményeink alapján javasoljuk, hogy olyan folyószakaszokon, ahol védendő, éjjel rajzó kérészek élnek, a hidak tervezésekor vegyék figyelembe a híd kérészpopulációkra gyakorolt negatív hatását is. A hidakra szerelt fénysorompók sikeresen védhetik meg a kérészpopulációkat, emellett a hídon lévő forgalom is biztonságosabban haladhat.

2.5. A témában megjelent publikációm

A fejezet Egri és munkatársai [73] cikke alapján készült, amihez a következő volt a hozzájárulásom:

- koncepció kialakítása,
- kísérletek előkészítése és kivitelezése,
- eredmények kiértékelése,
- kézirat véglegesítése.

[73] EGRI Á., SZÁZ D., FARKAS A., PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. Method to improve the survival of night-swarmer mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *Royal Society Open Science* 4 (2017), p. 171166. DOI: 10.1098/rsos.171166.

3. fejezet

Madárfajok atipikus táplálkozása a Duna-parti üvegépületeknél

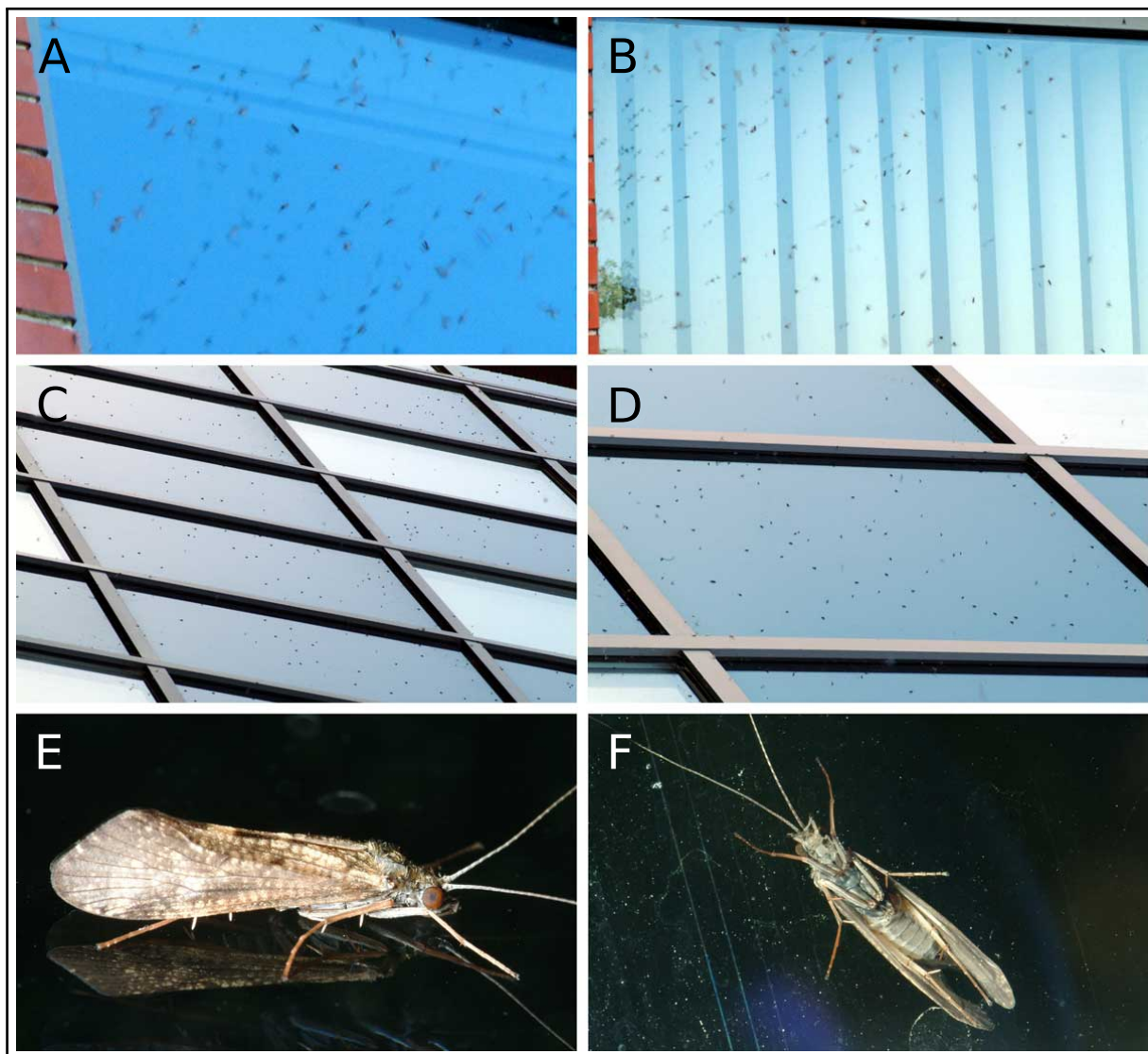
3.1. Bevezetés

A Duna budapesti szakaszánál, a folyóparti üvegépületeknél minden tavasszal, április-májusban megfigyelhetők nagy tömegben rajzó vízirovarok, a dunai tömegtegzések (*Hydropsyche pellucidula*). Ezen rovarok, ahogy számos más vízirovar (például tegzesek, kérészek, árvaszúnyogok) természetes körülmények között a folyót elhagyva, a növényzet fölött nagy rajokba verődve szaporodnak. A rajok kialakulását az úgynevezett marker hatás segíti, ami miatt olyan tereptárgyat keresnek, amely a környezettől jól elkülönül, annál magasabb. Ilyen tárgy lehet például egy folyóparti fa, bokor, épület, de akár egy állat vagy ember is [60, 81].

Kriska és munkatársai [11] kimutatták, hogy a folyóparti üvegépületeknél rajzó dunai tömegtegzéseket az épület csapdába ejti, az állatok a szaporodásukat követően nem térnek vissza a folyóhoz, hanem a víz helyett az üvegfelületekre rakják le tojásaikat. Az oda lerakott tojások kiszáradnak, így a leendő utódgeneráció megsemmisül. Kísérleteikben bizonyították, hogy a nagyobb polarizációfokú, vízszintesen poláros fényt reflektáló felületek jobban vonzzák a dunai tömegtegzéseket, a sötétebb ablakfelületeken több tegzes pihent a világosabbakhoz képest. Malik és munkatársai [6] képalkotó polarometriás mérésekkel igazolták, hogy

- alulról, szemből vagy felülről nézve a függőleges üvegfelületeket, róluk egy keskeny függőleges sávban vízszintesen poláros fényt tükröződik az épület mellett repülő tegzesek szemébe, valamint
- az üvegfelületekre rászállt rovarok szemébe a rovar helyzetétől és a napállástól függetlenül mindig olyan fényt verődik vissza, aminek polarizációiránya merőleges a rovarfej tükörszimmetria-síkjára.

Emiatt az üvegfelületen pihenő rovarok a tükröződést mindig vízszintesen poláros fényként felfogva érzékelik, ezért erősen vonzódnak az üvegtáblákhoz és leszállás után rajtuk is maradnak.



3.1. ábra. **A, B:** Dunai tömegtegzesek (*Hydropsyche pellucidula*) rajzanak sötét (**A**) és világos (**B**) üvegfelületek előtt az ELTE TTK Északi épületénél. **C, D:** A rajzás második felében az üvegfelületekre leszállt tegzesek (sötét pontok). **E, F:** Dunai tömegtegzes az ablakon kívülről (**E**) és belülről (**F**) fényképezve.

Ezen hatások miatt az épület folyó felőli oldalánál nagy tömegben rajzanak a tegzesek, a rajzást követően pedig az épület üveglablakain, valamint a falon pihennek (3.1. ábra).

Az épület homlokzatán pihenő tegzesek jóval gyengébb védeltséget élveznek, mint a természetes környezetben, növényeken pihenők. Ezért az épület előtt rajzó, és az azon pihenő tegzesek könnyen kiaknázható táplálékforrást jelentenek egyes madárfajoknak, mint például a barázda-billegető (*Motacilla alba*), a házi veréb (*Passer domesticus*), a szécinege (*Parus major*) és a szarka (*Pica pica*) [12].

2014-ben és 2016-ban egy hím és egy tojó nagy fakopáncsot (*Dendrocopos major*) figyeltünk meg, amint az ELTE TTK Északi épületénél vadászott tömegtegzesekre. 2016-ban pedig

házi rozsdafarkút (*Phoenicurus ochruros*) és dolmányos varjút (*Corvus cornix*) láttunk szintén tömegtegzessel táplálkozni. Ebben a fejezetben ezen megfigyeléseket és körülményeit mutatom be, valamint a nagy fakopáncs megfigyelt viselkedését hasonlítom össze a fent említett többi madárfaj viselkedésével.

3.2. Anyag és módszer

A táplálkozó hím és tojó nagy fakopáncsot 2014. május 5. és 14. között, valamint 2016. május 5. és 22. között figyeltük meg. A megfigyeléseket az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Északi épületénél (47°28'28" É, 19°03'45" K, a későbbiekben ELTE TTK Északi épület) végeztük minden nap 16:00 és 22:00 óra (nyári időszámítás) között. Az épület a Duna partján van, körülbelül 50 méterre a folyótól (3.2. ábra). Az épülettől északra egy fás terület helyezkedik el, ahol a megfigyelt fakopáncsok fészkelhettek, azonban az odúkat nem találtuk meg.

Az épület 42 méter magas és 110 méter széles, homlokzatának alsó egyharmada piros téglával borított, míg a felső kétharmada fényes (180 cm széles, 180 cm magas) sötétszürke (a homlokzat 43%-a) és világosszürke (a homlokzat 17%-a) díszítő funkciójú üvegpanelekkel burkolt. A fehér függönnyel rendelkező ablakok felületaránya 24% (3.2. ábra). Ezek a fényes üvegfelületek (különösen a sötétszürkék) vonzzák a dunai tömegtegzéseket [11]. A homlokzat felső részén három csoportban 14 téglával kirakott oszlop van, amelyek 7 üvegpanel magasak és mindegyik 1 üvegpanel széles, így a homlokzat felső részének 16%-át borítják. Ha egy ablak mögött a függöny össze van húzva, akkor az ablak világosszürke, máskülönben pedig sötétszürke (3.2. ábra). Tapasztalataink alapján átlagosan az ablakok 25–35%-ánál van a függöny összehúzva.

Az épületnél megjelenő és dunai tömegtegzéseket zsákmányul ejtő madarakat szabad szemmel figyeltük és fényképezőgéppel dokumentáltuk. A megfigyeléseket a második emeleti teraszról végeztük. Amikor egy madár megjelent vagy elszállt, mindig fényképet készítettünk, amely alkalmak pontos időpontját a fényképek exif adataiból olvastuk ki.

3.3. Eredmények

A szóban forgó épületnél rajzó tömegtegzéseket az utóbbi 10 évben minden tavasszal megfigyeltünk. 2014. május 5. és 12. között egy hím nagy fakopáncsot észleltünk, amint az épület homlokzatán pihenő dunai tömegtegzésekkel táplálkozott. Az egyed könnyen azonosítható volt az erősen kopott faroktollairól. A fakopáncs minden esetben a függőleges téglafalra szállt le. A téglával kirakott oszlopoknál közvetlenül az ablak kerete mellett egy sor téglá van, aminek felülete merőleges az üveglapra. Az ezekre a téglákra leszálló fakopáncs könnyen elérhette az üvegfelület szélénél pihenő tegzéseket (3.3. ábra).



3.2. ábra. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Északi épülete Budapesten. Az épület alsó része vörös téglával, míg a többi része fényes sötétszürke és világosszürke üveglapokkal, valamint ablakokkal borított. A homlokzaton 14, téglával kirakott oszlop is található.

2016. május 5. és 22. között egy tojó nagy fakopáncsot figyeltünk meg ugyanezen a területen, miközben szintén tömegtegzésekkel táplálkozott. 2016-ban valószínűleg megint csupán egy egyed táplálkozott az épület ezen részén, azonban ezt az egyedet nem tudtuk azonosítani. A korábban megfigyelt szarkákhoz, széncinegékhez és verebekhez [12] hasonlóan a fakopáncsok is 19:00 és 20:00 óra között érkeztek az épülethez táplálkozni. A fakopáncsok kizárólag táplálkozás céljából keresték fel az épületet, 19:00 óra előtt sosem figyeltük meg őket. A fakopáncsok kizárólag az épület keleti (Duna felőli) oldalán kerestek táplálékot, ahol a tegzesek a legnagyobb tömegben voltak jelen. A madarak a téglafalak sötét ablakokhoz közeli részein szálltak le, ahonnan elérhették az ablakkereten és az ablakok szélénél pihenő tegzeseket. Csupán ezt az egy fajta táplálkozási módot figyeltük meg a fakopáncsoknál, szitálást vagy ugrást nem tapasztaltunk. Egy helyben ülve a téglafalon a fakopáncsok egymás után több tegzest is elkaptak. Mikor 3–4 tegzes volt a csőrükben, az épület vízszintes felületeire szálltak, eleresztették, majd újra felvették a már elpusztult rovarokat. Ezalatt valószínűleg el is fogyasztottak a tegzesekből, mert ezt követően



3.3. ábra. Dunai tömegtegzésekkel táplálkozó madarak az ELTE TTK Északi épületénél. Hím (A–C) és tojó (D) nagy fakopáncs (*Dendrocopos major*) kapaszkodik és táplálkozik a számára ideális felületet biztosító téglafalon. E: Házi rozsdafarkú (*Phoenicurus ochruros*) tegzeseket szedeget az ablakról. F: Dolmányos varjú (*Corvus cornix*) egy ablakpárkányon ülve tömegtegzessel táplálkozik.

általában visszaszálltak az épület homlokzatára újabakat gyűjteni. Tegzesekkel a csőrükben, óránként 4–5-ször repültek el az épülettől északra lévő fás területre. Mikor visszatértek, minden alkalommal az épület keleti oldalának északi felénél folytatták a táplálkozást. Megfigyeléseink alatt olyan sok tegzes pihent az épületen, hogy a fakopáncsok egy ültő helyükben is több tegzest voltak képesek zsákmányolni, azonban a madarak időről időre odébb repültek, jellemzően egyre délebbre az épület folyó felőli oldalán.

2016. május 11-én egy pár dolmányos varjút figyeltünk meg, amint az épület peremére

szállnak le, és tegzeseket szedegetnek. Később a varjak az épület tetejéhez repültek és ott kerestek tömegtegzest. 2016. május 18-án egy pár házi rozsdafarkút figyeltünk meg, amint az épület falánál szitálva és ugrálva tegzeseket kapnak el.

3.4. Eredmények értékelése

A fakopáncsok jellegzetes táplálkozásmódja, amikor a fát kopogtatva megkeresik a benne élő rovarokat, majd csőrükkel lyukat fúrva szerzik meg zsákmányukat. Török [82] kimutatta, hogy a nagy fakopáncs generalista faj, amely főként ízeltlábúakkal táplálkozik. Jellegzetes táplálkozásmódjuk mellett a fakopáncsok gyakran táplálkoznak a talajon, keresnek magvakat, esznek faggyút, isszák a fák nedveit vagy tetemekből lakmároznak [83, 84]. Korábban még nem számoltak be arról, hogy fakopáncsok vízirovarokat zsákmányolnak, amelyeket üvegépületek vonzanak nagy tömegben. Ezért az általunk megfigyelt viselkedés joggal nevezhető a fakopáncsok atipikus táplálkozási módjának.

Budapesten a dunai tömegtegzés általában április végétől május közepéig rajzik. Ebben az időszakban a tegzslárva kimászik a vízből, majd imágóvá vedlik a folyóparton. A rajzás kezdetén a rovarok 50–200 egyedből álló rajokba verődnek, majd a rajzás előrehaladtával a folyópart 100 méteres sávjában ezen rajok egyre gyakoribbá válnak. Az épületeket díszítő, erősen és vízszintesen polarizált fényt reflektáló, sötét színű üvegfelületek, valamint ablakok rajzási helyet biztosítanak azon tegzesfajoknak, amelyek a folyótól távolabb rajzanak. Ezen épületek sötét körvonala a világos égbolt előtt jól látható marker a rajzáshelyet kereső tegzéseknek, azonban a magasabban repülő rovaroknak nem jelenthet segítséget a világos égbolt, hiszen ekkor a sötét épület szintén sötét háttér előtt látszik. A polarizált fényt érzéklni képes tegzések számára jól elkülönülnek a környezettől a vízszintesen poláros fényt reflektáló épületek a gyengén vagy egyáltalán nem polarizáló környezetüktől. Ez a poláros jel vonzza a polarotaktikus tegzeseket [6, 11].

A vizsgált épület homlokzata függőleges, világosszürke és sötétszürke üvegpanelekkel díszített, illetve számos ablakot tartalmaz, amelyek erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek egy keskeny függőleges sávban, ezért vonzzák a polarotaktikus tegzeseket (3.1. ábra). Tegzesrajok nem alakulnak ki az épület gyengén poláros vagy polarizálatlan világos (főként fehér) felületeinél. Kriska és munkatársai [11] kimutatták, hogy a tegzések előnyben részesítették a sötét üvegfelületeket a világossal szemben (3.1. C, D ábrák): a sötétekre 3–7-szer annyi tegzes szállt le, mint a világosakra.

A házi verebeknek, a széncinegéknek, a szarkáknak, a dolmányos varjaknak, a házi rozsdafarkúaknak és a nagy fakopáncsoknak az épületre leszállt tegzések elkapásához szükséges volt leszállniuk az épület vízszintes elemeire, vagy a fakopáncsok esetében a téglafalra. Ezzel szemben a barázdabillegetőik képesek voltak az üvegpanelek előtt egy helyben szitálva elkapni az ott

pihenő tegzeseket. A rajzás első felében a tegzesek az épület homlokzata előtt repülnek, és csupán néhányuk száll le az üveglapokra, így ebben az időszakban csak a barázdabillegetők képesek nagyobb mennyiségben, repülve tegzeseket elkapni. Azon madárfajok, amelyek nem tudják elfogni a repülő tegzeseket, kizárólag az épületre leszállt rovarokból táplálkozhatnak. A rajzás második felében (körülbelül 17:00 óra után) a nőstény tegzesek leszállnak az épületre, ekkor a fent említett többi madárfaj is könnyen zsákmányul ejtheti őket. A megfigyelt fakopáncsok a téglafalra leszállva, majd azon kúszva közelítették meg az üvegfelületeken pihenő tegzeseket. Ez a helyváltoztatás hasonló a természetes környezetben, fatörzseken történő mozgáshoz [85].

A Duna partján álló ELTE TTK Északi épületénél megfigyelt dunai tömegtegzes rajzási időszaka (április végétől május közepéig) részben egybeesik az újonnan megfigyelt madárfajok fészkelési időszakával, így az épület által nagy tömegben odavonzott tegzesek fontos táplálékforrást jelentenek az azt kihasználni képes madaraknak, még ha a tegzesek nem is az elsődleges táplálékforrásuk. A fakopáncsok táplálkozásának időzítése és táplálkozási stratégiájának összevetése a tegzesek rajzásdinamikájával további érdekes kutatási eredményekkel szolgálhat.

3.5. A témában megjelent publikációim

A fejezet Pereszlényi és munkatársai [86] cikke alapján készült, amihez a következő volt a hozzájárulásom:

- koncepció kialakítása,
- terepi megfigyelések kivitelezése és kiértékelése,
- eredmények összefoglalása,
- kézirat megírása.

A tudományos publikációt magyar nyelvű ismeretterjesztő cikkben is összefoglaltuk [87].

[86] PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. Atypical feeding of woodpeckers, crows and redstarts on mass-swarmed *Hydropsyche pellucidula* caddisflies attracted to glass panes. *Urban Ecosystems* 20(6) (2017), pp. 1203–1207. DOI: 10.1007/s11252-017-0672-3.

[87] PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. ÉT-Etológia: A poláros fényszennyezés haszonélvezői. *Élet és Tudomány* 72(12) (2017), p. 604.

4. fejezet

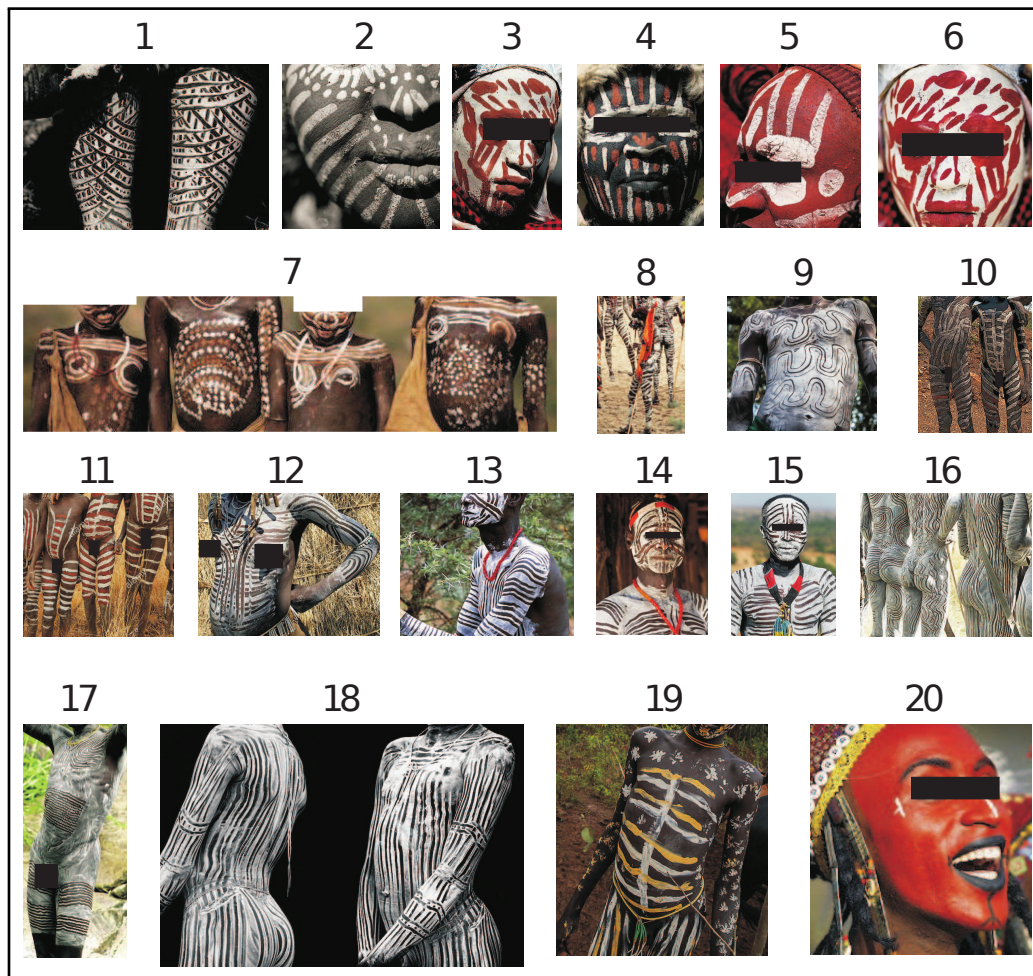
A csíkos testfestés véd a bögölyök ellen

4.1. Bevezetés

Afrika, Ausztrália, Pápua Új-Guinea és Észak-Amerika bennszülött törzsei a testfestés során a barna bőrre gyakran fehér, világos sárga, világos szürke vagy bézs színű csíkokat festenek [88, 89, 90, 91, 92]. A testfestés során nagyon sokféle mintázat megjelenik, mint például a csíkos, pöttyös, hullámos vagy kockás (4.1. és 4.2. ábrák és 4.1. táblázat). A testfestés célja szintén változó. Készülhet dekoráció céljából, érzelm kifejezéséeként, személyazonosság vagy a csoportba tartozás jelzésére [93, 94]. A testfestések mintázata gyakran emlékeztet azon csíkokra, amelyek például zebrákon vagy okapin figyelhetőek meg. A festett mintázat elsősorban hagyományok útján alakul ki [95], azonban felmerült, hogy egyéb haszna is lehet, mint például a termoreguláció vagy rejtőszín [96, 97].

Azokon a területeken, ahol jelenleg előfordul testfestés, jellemzően bögölyök (Tabanidae) is élnek (4.1. táblázat, [98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105]), és mivel a megfestett test nagy része fedetlen, ezek az emberek ki vannak téve a vérszívó nőstény bögölyök és egyéb parazita rovarok (például cecelegyek (Glossinidae) és púposzúnyogok (Simuliidae)) folytonos támadásának. Horváth és munkatársai [106] bizonyították, hogy a bögölyök gyakrabban támadják a homogén, sötét testfelületű emlősöket, mint a világosabbakat. Minél sötétebb a gazdaállat, annál vonzóbb a bögölyöknek, azonban a vonzás csökken, ha a testfelület mintázatának heterogenitása növekszik. Ennek megfelelően azon gazdaállatokat, amelyeknek több és vékonyabb csík tarkítja a kültakaróját, kevesebb bögöly támadja, mint azokat amelyeknek kevesebb, de vastagabb csíkja van [16, 34]. Egri és munkatársai [35] kimutatták, hogy a legjellegzetesebb csíkos nagyemlősök, a zebrák szignifikánsan kevesebb bögölyt vonzanak, mint a homogén fekete vagy fehér/világos színű gazdaállatok. A csíkos állatokhoz hasonlóan a foltosak is kevésbé vonzóak a bögölyök számára, mint a kevésbé foltos vagy homogén mintázatúak [36]. A zebracsíkok alakja és fényintenzitás-különbsége hasonló a bennszülött törzsek által használt csíkos testfestéshez.

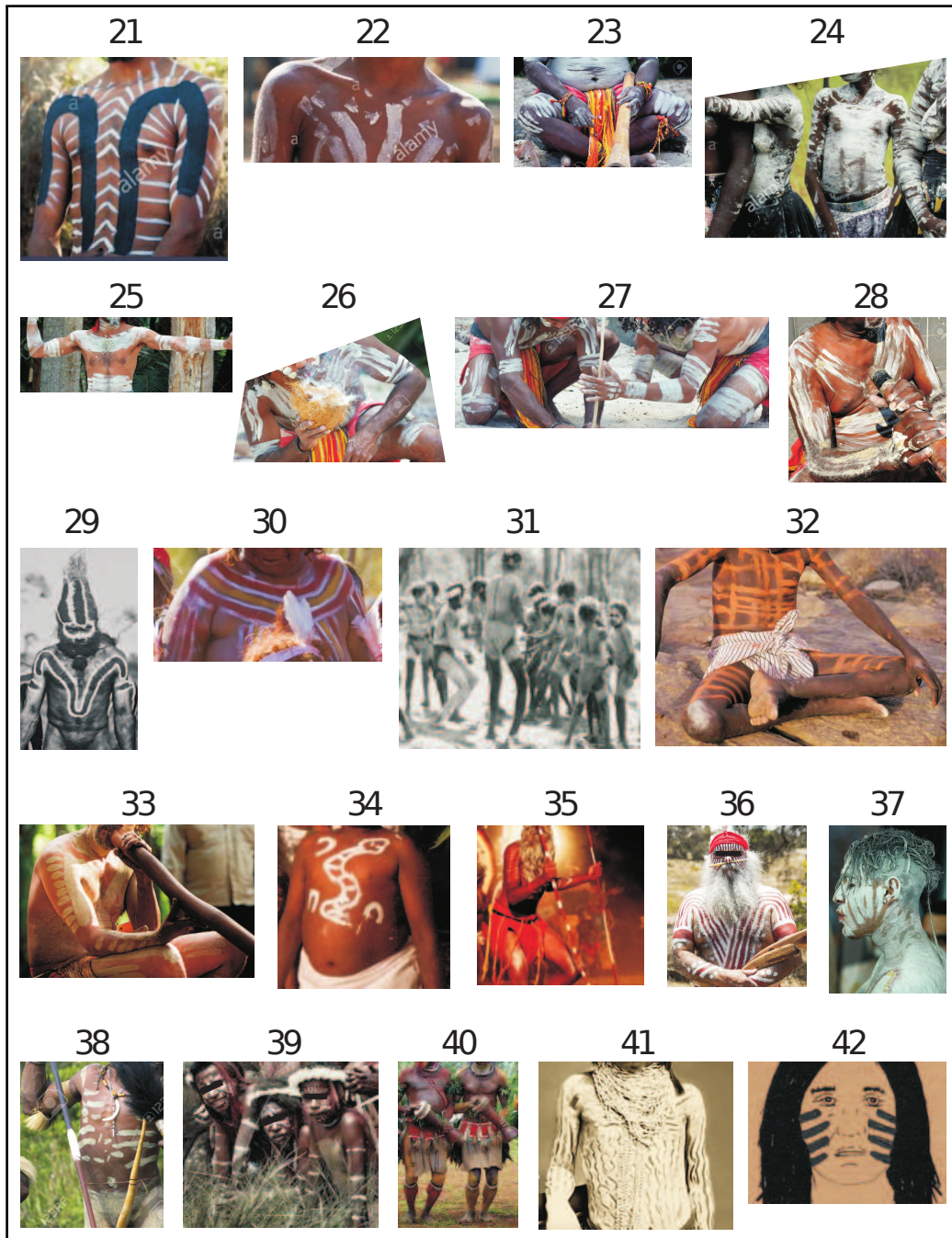
Korábban már bizonyítást nyert, hogy a visszavert poláros fény tulajdonságainak kulcsszerepe



4.1. ábra. Tipikus testfestési minták különböző afrikai törzseknél. A képek nagyobb fényképekből lettek kivágva. Személyiségi jogok miatt a képeken a szemeket kitakartam. Az egyes törzsek földrajzi élőhelyeit a 4.1. táblázat, míg a képek forrásait a Függelék 6.1-es táblázata tartalmazza (71. oldal).

van abban, hogy a gazdaállatot mennyire támadják a bögölyök: a nagy polarizációfokú, tetszés szerinti polarizációirányú fény kizárólag a vérszíváshoz gazdaállatot kereső nőtény bögölyöket vonzza, míg a vízszintesen poláros fényt visszaverő felületek a vizet kereső hím és nőtény egyedeket egyaránt vonzza [9, 107, 108, 109]. A fentiek alapján a következőket feltételeztük:

1. A testfestés hasznos mellékhatása, hogy csökkenti a bögölytámadások számát.
2. Az ember fekvő (vízszintes) és álló (függőleges) pózának hatása van a bögölyök vonzására, mivel a két póz polarizációs mintázata jelentősen eltérhet egymástól.
3. A homogén sötét színű, álló emberalak főként függőlegesen vagy ferdén poláros fényt reflektál, és így csak a vérszíváshoz gazdaállatot kereső nőtény bögölyöket vonzza.
4. A homogén sötét színű, fekvő emberalak nagyrészt vízszintes vagy ahhoz közeli polarizációirányú fényt ver vissza, ami a vízfelszínre jellemző, ezért mind a hím, mind a nőtény bögölyöket vonzza.



4.2. ábra. Tipikus testfestési minták különböző ausztrál (21–37), pápua új-guineai (38–40) és észak-amerikai (41–42) törzseknél. A képek nagyobb fényképekből lettek kivágva. Személyiségi jogok miatt a képeken a szemeket kitakartam. Az egyes törzsek földrajzi élőhelyeit a 4.1. táblázat, míg a képek forrását a Függelék 6.1-es táblázata tartalmazza (71. oldal).

Magyarországi terepkísérletben teszteltük a fenti hipotéziseket, amely során különböző színű és mintázatú, életnagyságú ember alakú bábukat használtunk, ezeket különböző pózokban helyeztük ki, és a bábuk bögölyvonzó-képességét vizsgáltuk. A 2., 3. és 4. hipotézis teszteléséhez képalkotó polarimetriával mértük a bábuk polarizációs mintázatait.

4.1. táblázat. Testfestést alkalmazó törzsek földrajzi élőhelyei (kontinens/sziget, régió), valamint a 4.1. és a 4.2. ábrákon látható testfestési motívumok sorszámai.

kontinens / sziget	régió	törzs	sorszám a 4.1. és 4.2. ábrákon
Afrika	Kenya	Kikuyu	1, 2, 3, 4, 5, 6
		Masai	7, 8
	Etiópia	Mursi	9, 10, 11
		Omo	12
Karo Surma (Suri)		13, 14, 15 16, 17, 18, 19	
Sahel régió	Wodaabe	20	
Ausztrália	Közép Ausztrália	Anangu	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28
		Arrernte	29
	Északi terület	Warlpiri	30
		Yolngu	31
		Yanyuwa	32
	Észak Queensland	Kuku Yalanji	33
	Nyugat Ausztrália	Jarlmadangah	34
Mowanjum		35	
Dél-közép Ausztrália Dél-kelet Ausztrália	Ngarrindjeri Wurundjeri	36 37	
Pápua Új-Guinea		Baruya	38, 39
		Huli	40
Észak-Amerika	Kalifornia	Cocopah	41
		Kumeyaay	42

4.2. Anyag és módszer

4.2.1. Képpalkotó polarimetria

A bögölyök polarotaktikus rovarok, a vizet (egyéb ingerek mellett) a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációjának érzékelésével, míg a gazdaállatot a róla visszaverődő fény intenzitása és polarizációfoka segítségével találják meg [1]. Ezért a terepkísérletekben használt bábuk polarizációs mintázatait képpalkotó polarimetriával mértük a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában [55, 56].

4.2.2. Választásos terepkísérlet

Terepkísérletünket 2015. június 22. és augusztus 16. között Szokolya mellett egy réten (47°52' É, 19°00' K) végeztük. Korábbi terepkísérletekből [35, 36, 107, 108] már tudtuk, hogy nyaranta számos bögölyfaj van jelen ezen a területen. A kísérlet során homogén sötétbarna, bézs és sötétbarna alapon fehér csíkos műanyag bábukat használtunk, amelyek mérete megegyezik egy felnőtt ember méretével (180 cm magas, 50 cm széles). A bábukat a Figura Dekor Kft.

forgalmazza. A bábuk formája azonos volt, és úgy voltak színezve, hogy a bézs színű fehér bőrszínt, a sötétbarna pedig a néger bőrszínt modellezze. A csíkokat (melyek szélessége 4 cm, hossza: 10–50 cm és csíktávolsága: 4–5 cm volt) fehér olajfestékkel (Trikolor fehér, Trilak-Haering Kft.) festettük fel az egyik sötétbarna bábura, amivel az afrikai és ausztrál testfestést utánoztuk.

A bábukat egy facsoporttól 10 méterre helyeztük ki. 2015. június 22. és július 19. között a bábuk álló pózban voltak (4.3. A ábra), július 20. és augusztus 2. között hassal lefelé (4.3. B ábra), míg augusztus 3. és 16. között a hátukon feküdtek (4.3. C ábra). A vizet kereső nőtény és hím bögölyök vonzódnak a vízszintesen poláros fényt reflektáló felületekhez, míg a vérszíváshoz gazdaállatot kereső nőtények a visszavert fény polarizációirányától függetlenül a sötét felületeket preferálják [1]. Bábuink fekvő (ekkor főként vízszintesen poláros fényt reflektáltak) és álló pózban (ekkor nagyrészt függőlegesen poláros fényt reflektáltak) az említett helyzeteket utánozták, ezért vizsgáltuk mindkét pózt. Napközben, derült időben a bábukat napkeltétől (körülbelül 5:30-tól, nyári időszámítás) 11:30-ig és délután körülbelül 14:30-tól napnyugtáig (kb. 20:30) közvetlen napfény érte, míg 11:30 és 14:30 között egy közeli facsoport árnyékot vetett rájuk.



4.3. ábra. **A–C:** A terepkísérletben használt bábuk álló (**A**), hassal lefelé fekvő (**B**) és háttal lefelé fekvő (**C**) helyzetben. **D–F:** A bábuk ragadós felülete számos rovarot fogott, főként legyeket, amelyek nagy része bögöly volt. **G–I:** Bögölyökről készült fényképek, amelyek a barna (**G**), bézs (**H**) és fehér csíkos (**I**) bábukon estek csapdába.

A bábuk a kísérlet teljes ideje alatt be voltak vonva egy vékony, átlátszó, színtelen és időjárásálló ragasztóval (BábolnaBio® egércsapda), amit hetente frissítettünk. Ez a ragasztó vízálló, nem tartalmaz hígítót, ragacsosságát speciális makromolekulák biztosítják, ezért nem párolog el, nem szárad ki. Ezek alapján szagtalannak tekinthető mind az állatok, mind az emberek számára. Ha esetleg a ragasztó szaga kissé hatott is a rovarokra, az az eredményeinket nem befolyásolta, hiszen mindhárom bábu egyaránt be volt kenve vele, így a bábuk bögölyvonzó-képességében lévő különbségek nem magyarázhatóak a szaggal.

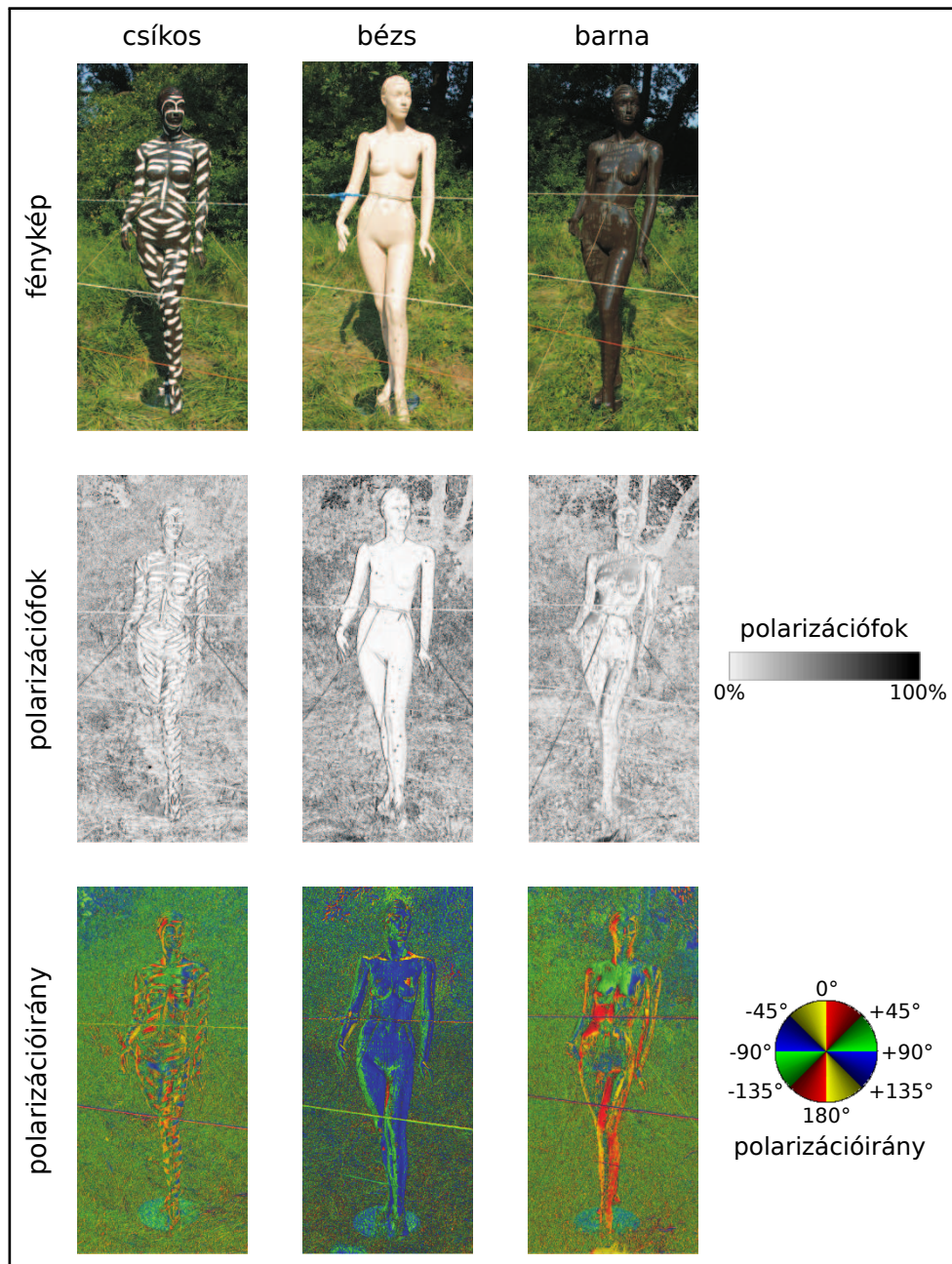
Mivel a bábuk számos, különböző rovarot fogtak (főként legyeket) (4.3. D–F ábrái), ezért minden második nap begyűjtöttük róluk a bögölyöket (4.3. G–I ábrái), majd annak érdekében, hogy tisztán tartsuk a tesztfelületeket eltávolítottuk az 1 mm-nél nagyobb összes többi rovar és szennyeződést. Mivel lényegében csak a ragadós sötétbarna felületek fogtak bögölyöket, az elpusztult rovarok színe nem változtatta meg lényegesen a bábuk színét. Emiatt a rovartetemek esetleges vonzó hatása az élő bögölyökre minimális volt. Korábbi választásos terepkísérletekben, amelyekben szintén bögölyöket vizsgáltak, ez a módszer megfelelően működött [35, 36, 37, 106].

Minden csapdázott bögöly nemét meghatároztuk az alapján, hogy van (nőstény) vagy nincs (hím) ommatídium-mentes terület a két összetett szem között. A csapdázott bögölyök teste annyira sérült a ragasztóból való eltávolítás során, hogy a faji meghatározásra nem volt lehetőség. Korábbi, ugyanezen a területen végzett terepkísérletek eredményeiből [110, 111] tudható, hogy a csapdázott bögölyök a következő fajokhoz tartoznak: *Atylotus loewianus* (Villeneuve, 1920), *Tabanus tergestinus* (Egger, 1859), *Tabanus bovinus* (Linnaeus, 1758), *Tabanus maculicornis* (Zetterstedt, 1842), *Tabanus bromius* (Linnaeus, 1758) és *Haematopota pluvialis* (Linnaeus, 1758). A helyhatás kiküszöbölése érdekében a bábuk sorrendjét minden második nap véletlenszerűen felcseréltük.

A meleg ragasztó alacsonyabb viszkozitása miatt néhány rovartetem lecsúszott a napsütötte, meleg bábukról. Ezért a modellek alatt a talajon lévő bögölytetemeket is begyűjtöttük, és hozzáadtuk azokhoz, amiket az azonos bábukon gyűjtöttünk.

4.2.3. Statisztikai elemzés

Faktoriális ANOVA és Tukey HSD post-hoc teszt segítségével elemeztük az egyes bábukon csapdázott bögölyök számát, az elemzést a Statistica 7.0 programmal végeztük. A teszt során a független változók a következők voltak: póz (álló, hason fekvő, háton fekvő), bábuk színe (bézs, barna, csíkos) és a bögölyök neme.



4.4. ábra. A terepkísérletekben használt napsütötte, álló bábuk polarizációs mintázatai a spektrum kék (450 nm) tartományában. Legfelső sor: fényképek, középső sor: polarizációfok, alsó sor: függőlegestől számított polarizációirány. A polariméter optikai tengelye vízszintes volt.

4.3. Eredmények

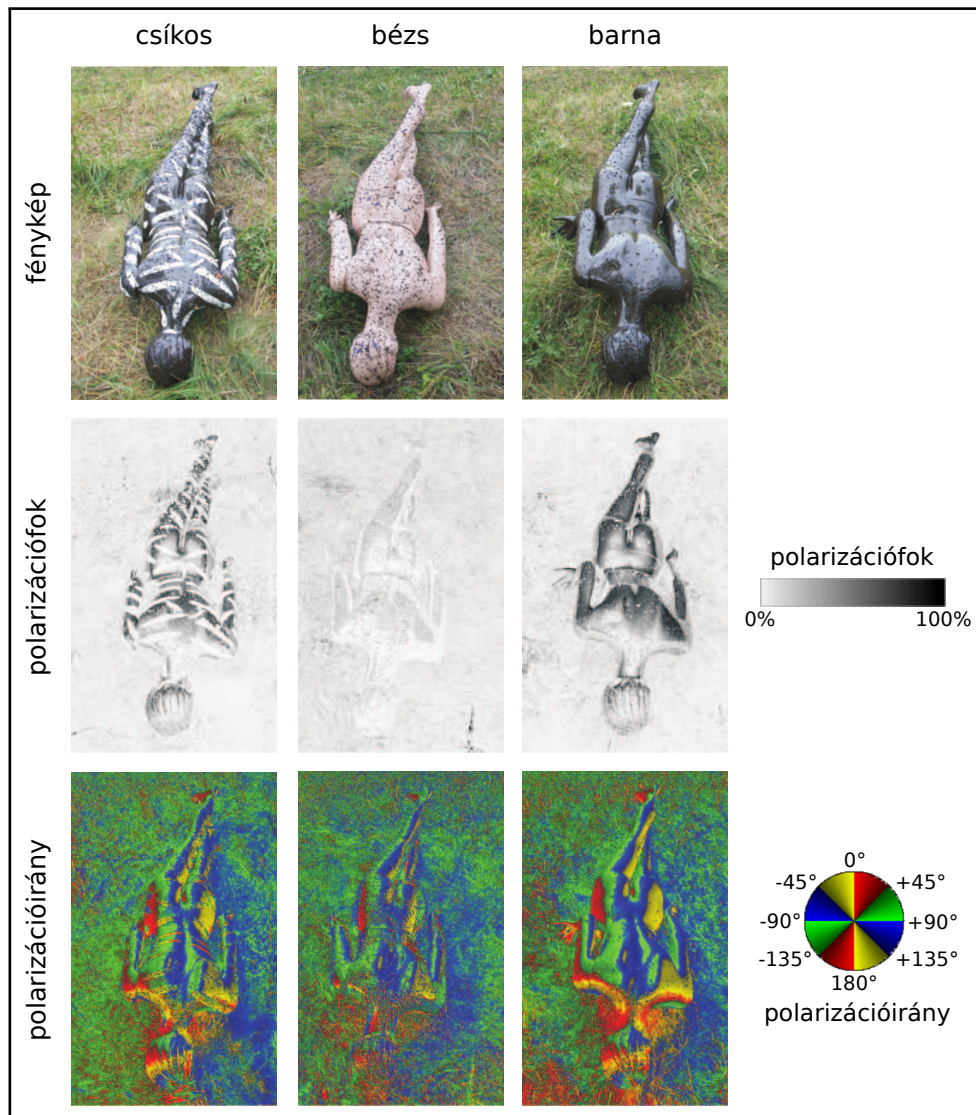
A 4.1. és 4.2. ábrák különböző bennszülött törzsek néhány tipikus testfestési mintázatait mutatják Afrikából (4.1. ábra), Ausztráliából (4.2/21–37. ábrák), Pápua Új-Guineából (4.2/38–40. ábrák) és Észak-Amerikából (4.2/41–42. ábrák). Ezen törzsek nevének felsorolása és földrajzi elterjedése a 4.1. táblázatban található, a képek forrását a Függelék 6.1. táblázata tartalmazza a 71. oldalon. Azokon a területeken, ahol testfestés előfordul bögölyök is jelen vannak.

A polarimetriás méréseink (4.4., 4.5. és 4.6. ábrák) alapján megállapítható, hogy a sötétbarna bábu, valamint a fehér csíkos bábu sötétbarna részeiről visszaverődő fény volt a legpolárosabb (d polarizációfok $< 90\%$). A bézs színű báburól visszaverődő fény kevésbé volt poláros ($d < 20\%$), míg a fehér csíkokról visszaverődő fény lényegében polarizálatlan volt ($d < 5\%$). A visszavert fény polarizációfoka a kékben (450 nm) volt a legnagyobb, legkisebb pedig a vörösben (650 nm). A visszavert fény polarizációiránya mindig merőleges a szemlélő (polariméter vagy polarizációérzékeny bögyöly szem), a fényt reflektáló pont és a fényforrás (nap, ég vagy növényzet) által alkotott síkra, illetve a bábu anyagából érkező fény polarizációiránya párhuzamos a fényforrás, a bábu és a megfigyelő által meghatározott síkra. Ezért a bábukról érkező fény polarizációiránya folyamatosan változott a bábuk felületének görbületével, továbbá attól is függött, hogy a felületről tükröződő fény vagy a bábu anyagából érkező fény van-e túlsúlyban. A polarizációirány mintázata a fény hullámhosszával csupán csekély mértékben változott (4.4., 4.5. és 4.6. ábrák), az álló pózban lévő báburól főként függőlegesen poláros fény verődött vissza, míg az elfektetett bábuk nagyrészt vízszintesen poláros fényt reflektáltak.

A statisztikai elemzés mindhárom vizsgált független változó (a bögyök neme, a bábuk színe és póza) esetében szignifikáns (mindegyik változónál $p < 0,0001$) hatást mutatott. A független változók kombinálásakor a hatásuk szintén szignifikáns ($p < 0,0001$) volt. Amikor a ragacsos bábuk álló pózban voltak, akkor kizárólag nőstény bögyölyöket fogtak (4.7. ábra). Ebben a pózban a sötétbarna bábu fogta a legtöbb bögyölyt (1200 nőstény), a teljes fogásszám 72%-át. A bézs bábu 18,5%-ot (308) csapdázott, és a legkevésbé vonzó a csíkos barna bábu volt, ami csupán a bögyölyök 9,5%-át (158) fogta. A sötétbarna bábu 7,6-szor (1200/158) volt vonzóbb a bögyölyök számára, mint a csíkos (Tukey HSD post-hoc teszt $p < 0,0001$, szignifikáns), a bézs bábu 1,9-szer (308/158) volt vonzóbb a csíkos sötétbarna bábunál ($p = 0,3039$, nem szignifikáns), míg a sötétbarna bábu 3,9-szer (1200/308) volt vonzóbb a bézs modellnél ($p < 0,0001$, szignifikáns). A Tukey post-hoc tesztben a szabadságfok 150 volt.

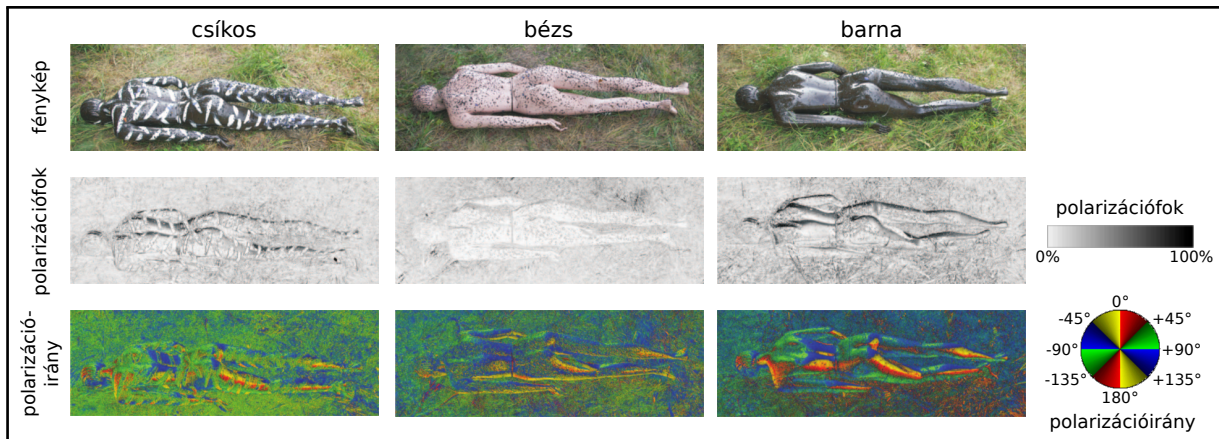
Amikor a bábuk el voltak fektetve a földön (hassal vagy háttal lefelé), hím és nőstény bögyölyöket egyaránt fogtak (4.7. ábra). Fekvő pózban is a sötétbarna bábu volt a legvonzóbb: a teljes fogás 83%-át, illetve 90,4%-át ez a bábu fogta. A legkevésbé vonzó a fehér csíkos bábu volt (2,6% és 5,8%), míg a bézs színű a kettő között, 7,0% és 11,2%-ot fogott. A sötétbarna bábu 14,3-szor, illetve 34,7-szer több bögyölyt fogott, mint a csíkos ($p < 0,0001$, szignifikáns mind a hassal lefele és hassal felfele fekvő pózokban). A bézs bábu 1,9-szer és 2,7-szer fogott több bögyölyt a csíkosnál (mindkét fekvő pózban $p = 0,999$, nem szignifikáns). A sötétbarna bábu 7,4-szer, illetve 13-szor volt vonzóbb a bézs bábunál (mindkét fekvő pózban $p < 0,0001$, szignifikáns). A nőstény/hím arány a fekvő, sötétbarna bábu esetén 1,8, illetve 2,1, a fekvő bézs bábu esetében 2,5 és 3,5, végül a fekvő csíkos bábunál 2,5 és 3,5 volt.

Az egyes bábuk összefogását tekintve (az álló és fekvő pózok fogásszámait összeadva) a sötétbarna, bézs és fehér csíkos bábu 77,1, 15,2 és 7,7%-át fogta a bögyölyöknek, míg a nőstény/hím

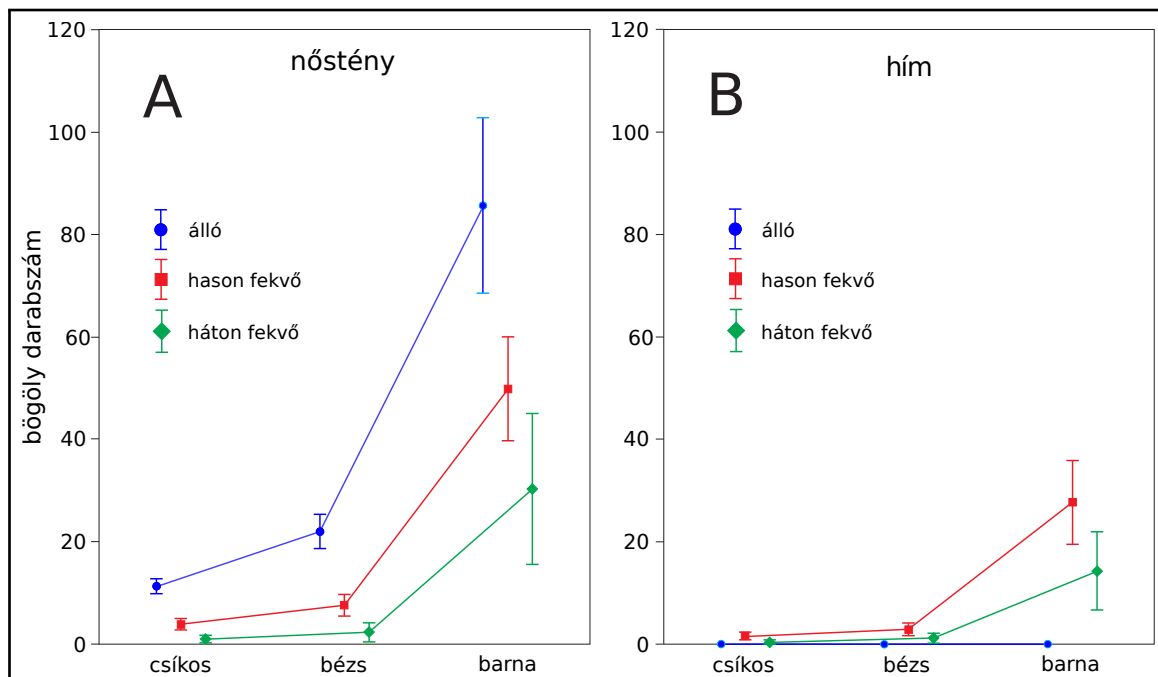


4.5. ábra. A terepkísérletek során használt napsütötte, fekvő báruk polarizációs mintázatai kék (450 nm) tartományában. Legfelső sor: fényképek, középső sor: polarizációfok, alsó sor: függőlegestől számított polarizációirány. A polariméter optikai tengelye a vízszintestől -35° volt, párhuzamos a báruk hossz tengelyével.

arány 6,0, 13,5 és 14,8 volt. Mindent összevetve a sötétbarna bábu 10-szer (2055/205) vonzóbb volt a bögölyök számára, mint a csíkos ($p < 0,0001$, szignifikáns). A bézs bábu 2-szer (405/205) vonzóbb volt, mint a fehér csíkos ($p = 0,1457$, nem szignifikáns), míg a sötétbarna bábu 5,1-szer (2055/405) volt vonzóbb a bézs bábunál ($p < 0,0001$, szignifikáns).



4.6. ábra. A terepkísérletek során használt napsütötte, fekvő embermodellek polarizációs mintázatait kék (450 nm) hullámhosszban. Legfelső sor: fényképek, középső sor: polarizációfok, alsó sor: függőlegestől számított polarizációirány. A polariméter optikai tengelye a vízszintestől -35° volt, merőleges a bábuk hossz tengelyére.



4.7. ábra. A terepkísérletben a ragadós bábuk által csapdázott nőstény (A) és hím (B) bögölyök számának súlyozott átlagai. A függőleges vonalak a 95%-os konfidencia-intervallumot jelölik.

4.4. Eredmények értékelése

Korábbi vizsgálatok bizonyították, hogy:

- a vízszintesen poláros fényt reflektáló felületek mind a nőstény, mind a hím bögölyöket vonzzák [107],
- az erősen poláros fényt reflektáló (sötét testfelületű) gazdaállatok (főként nagytestű növényevők) vonzzák a nőstény bögölyöket [106],
- a csíkos/foltos felületek nem vonzóak a bögölyök számára [35, 36] és
- a csíkos testfestés számos törzsi közösségben elterjedt [88, 89, 90, 91, 92].

Ezek az eredmények vezettek a következő hipotézisek megalkotásához:

1. A sötétbarna bőrű emberek csíkos testfestése kevésbé vonzó a bögölyöknek, mint a festetlen sötétbarna vagy világos bőr.
2. Az emberi test bögölyvonzása függ a póztól (álló vagy fekvő).

Eredményeink újszerűsége abban rejlik a korábbi, hasonló kutatásokhoz képest, hogy álló és fekvő embermodellek használatával – amelyek alakja és testtartása jelentősen eltér a bögölyök gazdaállataitól – igazoltuk a fent említett két új hipotézist.

A testfestés széleskörűen elterjedt hagyomány bizonyos afrikai, ausztrál, pápua új-guineai és észak-amerikai törzseknél (4.1. és 4.2. ábrák). Ideiglenes mintázat lévén, a testfestés csupán néhány napig tart. A színek és minták használatának szigorú szociális és vallási szabályai vannak [94]. Számos testfestési motívum létezik, azonban a csíkok szinte minden törzsnél megjelennek. Ebben a fejezetben kísérleti bizonyítékot mutattam arra, hogy a csíkos testfestés védelmet nyújt a bögölyök ellen, ugyanis vizuálisan kevésbé vonzó számukra, mint a festetlen testfelület. Kísérleteink eredményei támogatják azon hipotézist, miszerint a testfestés védelmet nyújt a veszélyes betegségeket terjesztő parazita rovarok (főleg bögölyök és cecelegyek) ellen. Azonban hangsúlyozni szeretném, hogy a testfestés elsődleges célja szociális és kulturális [88, 89, 90, 95, 96, 112, 113, 114, 115], és kevésbé valószínű, hogy a kialakulásában vezető szerepet játszott a vérszívó rovarok elleni védelem.

A testfestés elsősorban szociális szertartásokon, ideiglenesen jelenik meg. Ha kialakulásának fő szerepe a bögölytámadások csökkentése lett volna, akkor állandóan használnák a törzs tagjai. Ez alapján feltételezhető, hogy a paraziták elleni védelem csupán egy hasznos mellékterméke a testfestésnek. A testfestés során hagyományosan könnyen hozzáférhető anyagokat használtak, mint például agyagot, mészkövet, ásványokat, hamut, olajat (állati zsírokat és/vagy növényi olajokat), tehéntrágyát, vizeletet és különféle növényeket [91]. Manapság ezek közül a hagyományosan használt anyagok közül néhányat mesterségesen előállított, megvásárolható festékekkel, olajokkal helyettesítenek. A festéket kézzel, pálcával vagy füvekkel viszik fel a testre [94]. Habár ezek a hozzávalók különböző színűek lehetnek, az agyag, hamu, mészkő és más világos színű ásványok magas arányának köszönhetően a testfestés során leggyakrabban

használt színek a fehér, világos sárga, barna vagy szürke. A Himba törzs (Namíbia és Angola) pástorkodással foglalkozó női tagjaitól feljegyezték, hogy az általuk használt vajban elkevert okker és gyógynövények védenek a naptól, a száraz levegőtől és a vérszívó rovaroktól [116, 117, 118]. Ebből arra lehet következtetni, hogy a bennszülött törzsek tisztában vannak a testfestés rovartaszító hatásával.

A vérszíváshoz gazdaállatot kereső nőtény bögölyöket számos szag [119, 120, 121] és vizuális jel vonzza. Az utóbbi lehet a gazdaállat alakja, mozgása, testének színe vagy fényessége [122, 123] csakúgy, mint a róla visszaverődő, lineárisan poláros fény [9, 35, 36, 106, 107, 108]. Egri és munkatársai [35], valamint Blahó és munkatársai [36] korábban bizonyították, hogy a csíkos vagy foltos gazdaállatok szignifikánsan kevesebb bögölyt vonzanak, mint a homogén fehér vagy fekete színűek. Ez a megfigyelés még akkor is igaz, ha a gazdaállatok rájuk jellemző tipikus szagot bocsátottak ki, mint például a szén-dioxid vagy ammónia, amelyek vonzzák a bögölyöket [37]. Terepkísérletünkben azt találtuk, hogy a barna bábu körülbelül tízszer volt vonzóbb a bögölyök számára, mint a fehér csíkos barna bábu. Ez az eredmény egybevág a korábbi tapasztalatokkal [35, 36, 37].

Számos különbség van a valódi emberek és a kísérletünkben használt embermodellek között. Az emberi bőr felületének fizikai tulajdonságai jelentősen eltérnek a bábuk anyagától, csakúgy mint a szaga és a hőmérséklete. A kísérletek során használt modellek felületének fizikai tulajdonságai azonban (mint például simaság vagy ragadósság) mindhárom bábunál azonosak voltak. Habár a napsütötte bábuk felületének hőmérséklete nyilvánvalóan eltért egymástól (hiszen napsütésben a sötétebb felület jobban felmelegszik, mint a világosabb), ez aligha befolyásolta az eredményeinket, mivel a bögölyök a felület hőmérsékletét csupán a landolás után képesek érzékelni [124, 125].

A 4.1. és a 4.2. ábrák tipikus testfestési mintázatokat mutatnak. A képekből megállapítható, hogy a testfestésében megjelenő világos színű csíkok szélessége és hossza igen változékony. A csíkos bábu festéséhez igyekeztünk átlagos csíkvastagságot választani, amely se nem túl vékony és sűrű, se nem túl vastag és ritka csíkokból áll. Kísérletünkben a csíkok festésére használt fehér olajfesték nem azonos azzal, amit a bennszülött törzsek használnak, ez azonban az eredményeinket nem befolyásolta, ugyanis az optikai utánzás szempontjából csupán a csíkokról visszavert fény intenzitása és polarizációs tulajdonságai számítottak. Az általunk használt fehér olajfestékkel festett csíkok hasonlóan világosak voltak, mint a bennszülött törzsek által használt agyagból, hamuból és fehér ásványból készített csíkozás. Az Umow-szabálynak [54] megfelelően mind az eredeti, mind az általunk használt világos csíkozás alacsony polarizációfokú fényt reflektált. A fehér olajfesték, amelyet a barna bábu csíkozására használtunk teljesen száraz és szagmentes volt, mivel megvártuk, hogy a kísérlet kezdete előtt a festék hígítója teljesen kipárologjon. Ha a bábuk anyagának vagy az általunk festett csíkozásnak csekély mértékű szaga is lett volna, az nem befolyásolhatta az eredményeinket, hiszen mindhárom bábu teljes testfelülete be volt ragacsolva,

amely megakadályozta az alatta lévő szag kipárolgását. Ezért a fogásszámbeli különbségek nem magyarázhatóak a bábuk különböző szagával. Ennek megfelelően az nem befolyásolta az eredményeinket, hogy eltérő festéket használtunk a csíkokhoz, mint a bennszülött törzsek. A bábukra kent vékony, szagtalan, átlátszó és színtelen ragasztóréteg nem befolyásolta jelentősen a bábuk vizuális tulajdonságait, vagyis az árnyalatát és a róluk visszavert fény polarizációfokát. Egri és munkatársai [35] kimutatták, hogy a csíkvastagság jelentősen befolyásolja azt, hogy a bögölyök mennyire találják vonzónak a felületet. Minél vékonyabb a csíkozás, a felület annál kevésbé vonzó a bögölyöknek. Kísérletünkben az egyik barna bábút 4 cm széles fehér csíkokkal láttuk el, egymástól 4–5 cm-es távolságban, míg a másik barna bábút kontrollként festetlenül hagytuk. Ez a csíkvastagság a bennszülött törzsek által használt, eredeti csíkozáshoz képest átlagosnak tekinthető (4.1. és 4.2. ábrák). Ha sűrűbb és vékonyabb csíkozást használtunk volna, akkor várhatóan még kevesebb bögölyt csapdázott volna a csíkos barna bábu.

Kimutattuk, hogy a bennszülött törzsek által használt hagyományos testfestés jellegzetes fehér csíkos mintázata védelmet nyújt a vérszívó bögölyök támadása ellen, mivel ez a mintázat nem vonzó ezen parazita rovaroknak. Eredményeinkből megállapítható, hogy a testfestés kevésbé vonzó a bögölyök számára, mint a homogén barna vagy a homogén bézs testfelület: a fehér csíkos testfestés feleannyi bögölyt vonzott, mint a homogén bézs színű, és tizedannyit, mint a homogén barna. A testfestés ezen tulajdonsága igen hasznos, hiszen egyrészt a támadó nőtény bögölyök elviselhetetlenül zavarhatják az embert, másrészt vérszívásukkal számos betegség kórokozót (például tularémia, sertés kolera, filária, lépfene, Lyme-kór) terjeszthetik, amelyek veszélyesek, vagy akár halálosak is lehetnek az ember számára [126, 127, 128, 129]. Jól ismert, hogy a gazdaállatot kereső nőtény bögölyök intenzívebben támadják a sötét testfelületű emlősöket [35, 36, 37, 106], következésképpen a barna bőrű emberek szintén vonzóak a nőtény bögölyök számára. Azonban ez a vonzás – ahogy kísérleteinkkel igazoltuk – csíkos testfestéssel csökkenthető.

Mivel Afrika [99, 100, 101, 102, 105, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137], Ausztrália [98, 103, 104] és Pápua Új-Guinea trópusi területein a bögölyök egész évben előfordulnak, a testfestés az év bármely szakában hasznos védelmet nyújt a bögölyök ellen. Ismét hangsúlyozom: nem azt állítjuk, hogy a testfestés elsődleges célja a vérszívó rovarok elleni védelem, hanem terepkísérlettel bizonyítottuk, hogy a fehér csíkos testfestés hatékonyan csökkenti a felület bögölyvonzó-képességét, ezért a csíkos testfelületet kevesebb bögölycsípés éri, ezért csökken ezen rovarok által terjesztett betegségek valószínűsége is.

Azon megállapításunk, hogy a csíkos testfestés csökkenti a bögölytámadások számát sejthető volt, hiszen korábbi vizsgálatok egyéb gazdaállatoknál ugyanezt bizonyították [35, 37]. Azonban az álló ember oszlopszerű alakja jelentősen eltér a korábban vizsgált, négy lábú gazdaállatokétól. Azt vizsgáltuk, hogy az álló és fekvő embermodellek bögölyvonzó-képességében van-e különbség, míg a korábbi vizsgálatok csupán az álló, négy lábú gazdaállatok bögölyvonzó-képességét vizsgálták [35, 37]. A bögölyök tipikus gazdaállatai, a lovak és egyéb nagytestű

patások csupán vérszívó nőstény bögölyöket vonzanak [9, 35, 36, 37, 106, 107, 108, 110, 111], míg a sötétbarna, fekvő embermodell vizet kereső hím és nőstény bögölyöket is fogott. Ez a kettősség megmagyarázható a gazdaállatot kereső nőstény bögölyök és a vizet kereső nőstény és hím bögölyök eltérő polarotaxisával [108]:

- A vizet kereső hím és nőstény bögölyök a vízszintesen poláros fényt reflektáló felületekhez vonzódnak, mivel a vízfelszín jellemzően ilyen fényt tükröz [1, 56].
- A gazdaállatot kereső nőstény bögölyök polarizációiránytól függetlenül a magas polarizációfokú fényhez vonzódnak, amely a sötét testfelületű gazdaállatokról verődik vissza.

Horváth és munkatársai [109] megmutatták, hogy a bögölyöknek szükségük van a polarizáció érzékelésre a gazdaállat megtalálásában, mivel a polarizációérzékelés segít megkülönböztetni a sötét gazdaállatot a környezet egyéb sötét foltjaitól. Azonban több publikáció rámutatott, hogy nem a polarizációérzékelés az egyetlen faktor, amely befolyásolja a nőstény bögölyök gazdaállat-választását [119, 121, 123].

A bögölyök vízhez kötöttek, hiszen a lárváik vízben vagy iszapban fejlődnek, ezért olyan területeken fordulnak elő, ahol a közelben néhány tíz kilométeren belül víztest van jelen (a bögölyök több, mint 100km-t is képesek repülni [124]). Azokon a kevésbé száraz területeken, ahol a bennszülött törzsek testfestést használnak, jellemzően bögölyök is előfordulnak, hiszen lényegében mindenhol jelen vannak, ahol víztest van a közelben (4.1. táblázat). Ausztrália középső és Afrika szárazabb területein azonban bögölyök nem, vagy alig fordulnak elő, testfestést azonban ezeken a területeken is használnak a bennszülött törzsek (4.1. és 4.2. ábrák). A cecelegyek szintén vérszívó legyek (a nőstények és a hímek is vérszívók, míg a bögölyök esetében csupán a nőstények), azonban a bögölyökkel ellentétben nem kötődnek víztestekhez, ezért a szárazabb területeken is előfordulnak. A csíkos testfestés vérszívó cecelegyek ellen is védelmet nyújthat [34, 41], amelyek Afrika számos területén előfordulnak, így a testfestésnek ez is további előnye lehet.

4.5. A témában megjelent publikációim

A fejezet Horváth és munkatársai [138] cikke alapján készült, amihez a következő volt a hozzájárulásom:

- terepkísérletek előkészítése és elvégzése,
- eredmények kiértékelése,
- kézirat írása.

A tudományos publikációt magyar nyelvű ismeretterjesztő cikkben is összefoglaltuk [139].

- [138] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., ÁKESSON S., KRISKA Gy. Striped bodypainting protects against horseflies. *Royal Society Open Science* 6 (2019), p. 181325. DOI: 10.1098/rsos.181325.
- [139] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., ÁKESSON S., KRISKA Gy. Csíkos védelem a vérszívók ellen: bennszülöttek testfestésének áldásos parazitaellenes hatása. *Természet Világa* 150(9) (2019), pp. 390–396.

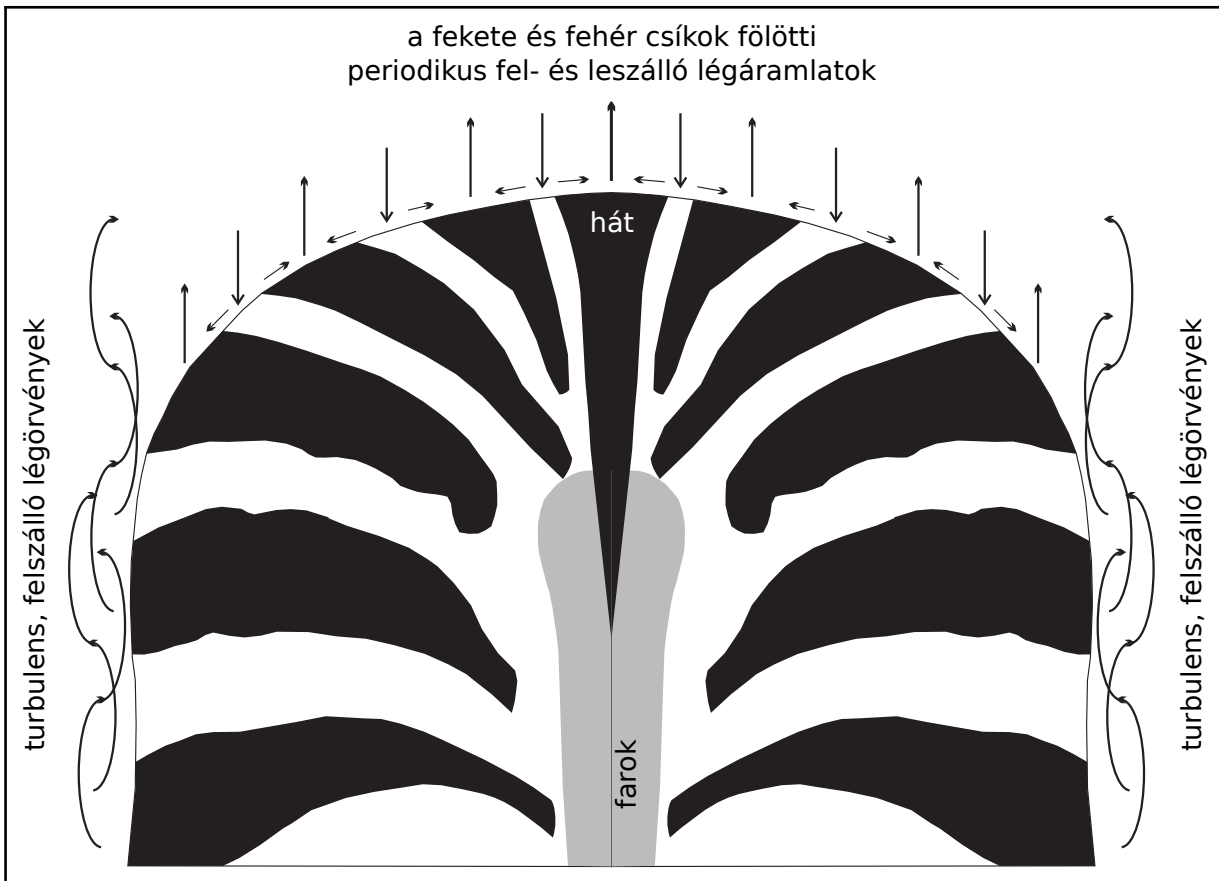
5. fejezet

A zebracsíkok hűtő hatásának terepkísérleti cáfolata

5.1. Bevezetés

Ebben a fejezetben azon hipotézist ellenőrző terepkísérletünket mutatom be, amely szerint a zebracsíkoknak a testhőmérséklet szabályozásában van szerepe. A termoregulációs hipotézis szerint napsütésben a melegebb, fekete csíkok felett felfelé áramló légörvény alakul ki, a felszálló levegőt a fekete csík melletti fehér csík fölött hidegebb, leszálló légáramlás pótolja (5.1. ábra). Ennek következményeként a periodikusan ismétlődő fekete-fehér csíkok felett egy felfelé és lefelé áramló stabil örvénysor alakul ki. Ez a napsütésben kialakuló örvénysor hűti az állat testfelszínét, hiszen a felszálló légáramlás elszállítja a meleg levegőt és gyorsítja az izzadtság párolgását.

A hipotézis megalapozottnak tűnik, hiszen napsütésben a fekete csíkok több napfényt nyelnek el, mint a szomszédos fehérek, ezért a fekete csíkok jobban felmelegszenek [45]. Napsütötte zebrákról készített hőképek megmutatják, hogy a fekete csíkok melegebbek a fehéreknél, és a hőmérséklet-különbség mértéke korrelál a léghőmérséklettel. Éjszaka a csíkok közötti hőmérséklet-különbség megfordul, a fekete csíkok a hűvösebbek [46, 47, 48]. Caro hőkamerás mérései [16] nem igazolták, hogy az azonos élőhelyen élő egyéb patások (zsiráfok, impalák, bivalyok) testfelszínének hőmérséklete magasabb lenne a zebrákénál. Másrészt Irondo és Rubenstein lézeres hőmérővel alacsonyabb felületi hőmérsékletet mértek napsütötte zebrákon (29,2 °C), mint szintén napsütötte tehénantilopokon (32,5 °C). Irondo és Rubenstein eredményeit Larison és munkatársai [44] említik, hivatalosan azonban nem lettek publikálva. Fontos megjegyezni, hogy az állat felületi hőmérséklete nem azonos a maghőmérsékletével [16], amely a termoreguláció szempontjából a legfontosabb. A maghőmérséklet nem lehet magasabb egy kritikus értéknél, hiszen a túlhevülés akár halálos is lehet. Caro és munkatársai [39] összevetették az éves átlaghőmérsékletet a 7 csíkos és nem csíkos lófaj 20 alfajának csíkozottságával, és nem

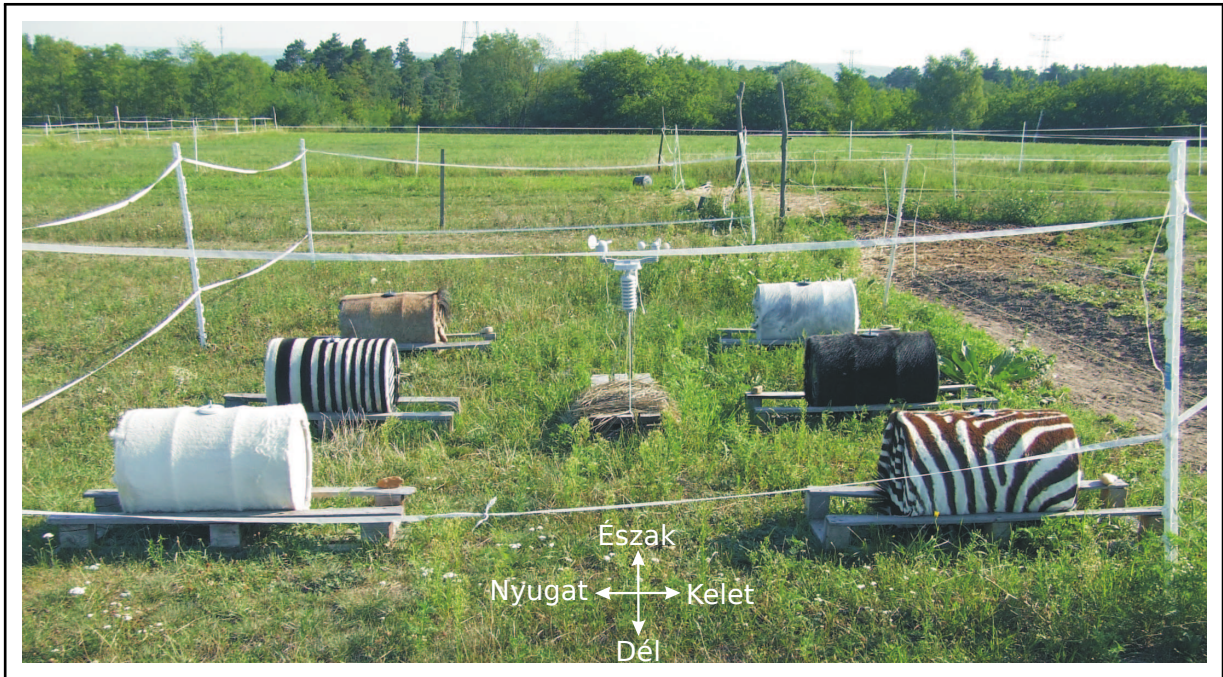


5.1. ábra. A zebracsíkok feltételezett hűtő mechanizmusa. A termoregulációs hipotézis szerint napsütésben a fekete csíkok melegebbek a fehéreknél, ezért az előbbieken felett felszálló, míg az utóbbiak felett leszálló légáramlás alakul ki. A periodikus fel- és leáramlásos légörvényrendszer csupán az állat hátán, a vízszintes és közel vízszintes felületek fölött alakulhat ki. A ferde és függőleges testfelületek fölött/mellett turbulens légáramlás jön létre.

találtak korrelációt. Ezzel ellentétben Larison és munkatársai [44] az alföldi zebra (*Equus quagga* Boddaert, 1785) populációinak csíkozottságát hasonlították össze különböző léghőmérsékleti változókkal, és pozitív korrelációt mutattak ki a hideg évszak átlaghőmérséklete és a csíkozottság intenzitása között. Terepkísérleteinkkel a korábbi vizsgálatok ellentmondásait kívántuk feloldani.

A termoregulációs hipotézissel legalább három probléma van:

1. Mostanáig a napsütötte csíkok fölötti stabil légörvényt senki sem dokumentálta. A sűrűségkülönbség miatt kialakuló örvények csupán az állat hátán, közel vízszintes felület fölött alakulhatnak ki. A ferde vagy függőleges felületek fölött (mint például az állat oldala) turbulens feláramlás alakulhat ki, hiszen nincs meg a vízszintes periodicitást biztosító egymás melletti fekete-fehér csíkozás (5.1. ábra). Ha a csíkozás elsődleges szerepe a termoreguláció lenne, akkor elegendő volna az állat hátának és egyéb, közel vízszintes felületeinek csíkosnak lenni, mert csak ezek fölött alakulhat ki periodikus örvénysor.
2. Az esetlegesen kialakuló légörvényt stabilizálója nem ismert. Az örvényeket valószínűleg



5.2. ábra. A kísérleti beállítás. A hordók és a meteorológiai állomás (középen) elhelyezkedése a terepkísérlet során. A vízzel töltött fém hordókat fa raklapokon helyeztük el, aminek köszönhetően a földfelszíntől 10 cm magasan voltak. A hordópalást közepén lévő lyukon keresztül helyeztük a hordóba az automata hőmérőt. Ezt a lyukat fém kupakkal zártuk le, amit a hordó borításával azonos színűre és mintázatra festettünk.

könnyedén elfújják a gyenge helyi szelek, amelyek a meleg, napos nyári időben szinte mindig jelen vannak. Továbbá, ahogy a zebra megmozdul, ezek az örvények azonnal felbomlanak [16].

3. Nem ismert, hogy ha kialakulnak a szóban forgó légörvények, azoknak erősebb hűtő hatása van-e, mint a bármilyen, egyszínű meleg felület fölött kialakuló turbulens feláramlásnak.

Ezen nyitott kérdések miatt a zebracsíkok hűtő hatásának fizikája és fizioiógiája is vitatható. A fekete és fehér csíkok eltérően nyelik el, illetve reflektálják a napfényt, eddig azonban az esetleges hűtő hatást átfogóan nem vizsgálták. Ebben a fejezetben a hipotézis terepi vizsgálatának eredményeit mutatom be, amely során egyszínű fekete, fehér, szürke, valamint zebracsíkos lómodelleket használtunk (5.2. ábra). A kísérletek során a felszíni hőmérséklet mellett a lómodellek maghőmérsékletét is vizsgáltuk, ezért a megfigyelésen [16, 46, 47, 48] vagy korreláción [39, 44] alapuló korábbi vizsgálatokhoz képest eredményeink termofizikailag meggyőzőbbek.

5.2. Anyag és módszer

A terepkísérleteket Gödön, egy lovastanyán (47°43' É, 19°09' K) 2017. június 10. és szeptember 19. között végeztük négy darab, háromhetes periódusban:

1. június 10–30.,
2. július 6–27.,
3. augusztus 6–26. és
4. augusztus 30– szeptember 19.

5.2.1. Léghőmérséklet és szélesebesség

A terepkísérletek teljes ideje alatt meteorológiai állomás (Conrad Electronic, műszer száma: 672861) segítségével 5 percenként mértük a léghőmérsékletet, a szélesebességet, a szélirányt, a légnyomást és a csapadékmennyiséget. Ezen környezeti paraméterek közül a kiértékelés során a levegő hőmérsékletét és a szélesebességet használtuk. A szenzorok a terepkísérletben vizsgált hordók mellett voltak elhelyezve, a talajtól 1 méter magasságban.

5.2.2. A hordók maghőmérséklete

A kísérletekben 6 darab fém hordót használtunk, amelyek átmérője 30 cm, hossza 60 cm és falvastagsága 1 mm volt. A hordókat csapvízzel töltöttük fel, és nyílt területre helyeztük ki, egymástól 2 méter távolságra (5.2. ábra). Napkeltétől napnyugtáig direkt napfény érte a hordókat, a nap során soha nem voltak árnyékban. Az elfektetett hordók hossz tengelye párhuzamos volt a kelet–nyugati iránnyal, ezért napközben a napfény főként a hordók palástját érte. Ennél az elrendezésnél tudta a napfény a lehető legjobban felmelegíteni a hordók felszínét, és ezzel együtt a hordókban lévő vizet.

A hordókat raklapokra helyeztük, így azok 10 cm-el a talaj fölött voltak (5.2. ábra). A hordók palástjának közepén lyukat fúrtunk, amelyen keresztül egy függőleges fémrúdra erősített hőmérő loggert (HOBO Pendant Temperature Data Logger, ONSET, Cape Cod, Massachusetts, Egyesült Államok) eresztettünk a hordóba, amely a hordó geometriai középpontjában volt, és 5 percenként mérte a hordóban lévő víz hőmérsékletét. A loggert rögzítő rúd felső végére egy 7 cm átmérőjű fémkupakot erősítettünk, amely lezárta a lyukat. A fémkupakot ugyanolyan színűre és mintázatúra festettük, mint amilyen bőr a hordót borította.

A hordókat a következő bőrokkal vontuk be: fehér marhabőr, fekete marhabőr, barnásszürke lóbőr, magyar szürkemarhabőr, fekete és fehér marhabőr csíkokból varrt csíkos bőr (a későbbiekben műzebra) és valódi zebrabőr (*Equus quagga boehmi* Matschie, 1892). A marha- és lóbőröket magyar marha- és lótaróktól szereztük be (az állatokat nem a kísérlet miatt ölték le), míg a zebrabőrt egy magyarországi vadsparktól kaptuk, ahol a zebra természetes úton

pusztult el. A csávázott bőroket nedvesen erősítettük a hordókra, így amikor azok megszáradtak, a száradás miatti zsugorodásnak köszönhetően ráfeszültek a hordókra. Így csupán minimális légréteg maradt a bőr és a hordó felszíne között. A műzebrabőrt 50%-ban fekete és 50%-ban fehér marhabőrökből varrtuk. A csíkvastagság 2 cm-től 7,5 cm-ig terjedt, ezzel modelleztük a valódi zebrák mintázatát. A csíkok merőlegesek voltak a hordó hossz tengelyére. Ez a mintázat a zebrák testének első felét modellezte, amelyen szintén közel függőlegesen rendeződnek a csíkok.

A fehér és fekete marhabőrrel, a barnásszürke lóbőrrel és a műzebrabőrrel bevont hordók kör alakú fedőlapjai azonos színűre és mintázatra voltak festve, mint az adott hordót borító bőr, míg a valódi zebrabőrrel és a szürkemarhabőrrel bevont hordók fedőlapjai ugyanazzal a bőrral voltak bevonva, amivel a hordó palástja (Függelék 6.1. ábrája a 73. oldalon). Mivel a fedőlapokat csak reggel és este, alacsony napállásnál érte közvetlen napfény, ezért a fedőlapok eltérő borításának hatása a maghőmérsékletre elhanyagolható volt. A négy darab, háromhetes terepkísérlet során a következő, bőrral bevont hordókat használtuk:

1. fehér marha, fekete marha, barnásszürke ló és műzebra,
2. fehér marha, fekete marha, barnásszürke ló, műzebra és valódi zebra,
3. fehér marha, fekete marha, barnásszürke ló, műzebra, valódi zebra és szürkemarha,
4. fehér marha, fekete marha, barnásszürke ló, műzebra, valódi zebra és szürkemarha.

A terepkísérlet közvetlen szomszédságában homokos talajon lovakat tartottak, ezért a hordókat borító bőroket elporolódtak. Ennek megakadályozása érdekében a bőroket minden második nap lekeféltük, és ekkor a hordók sorrendjét véletlenszerűen felcseréltük.

5.2.3. A hordók és valódi zebrák hőképe

A terepkísérletekben használt hordókról felhőmentes időben, teljes napsütésben 2017. július 18-án és 30-án, valamint augusztus 15-én reggel 8-tól este 7 óráig óránként készítettünk hőképeket. Ezt megelőzően 2016. júliusában a Fővárosi Állat- és Növénykertben hőképeket készítettünk napsütötte Böhm-zebrákról (*E. q. boehmi*). A hőképek készítéséhez használt kamera: VarioCAM, Jenoptik Laser Optik Systeme GmbH, Jena, Németország. A hőképek kiértékelésekor a képeken két, általunk kijelölt egyenes mentén vizsgáltuk a hőmérséklet változását, amelyhez saját fejlesztésű programot használtunk.

5.2.4. A hordókról visszaverődő fény színe

A spektroszkópos méréseket délben, teljes napsütésben végeztük. A 6 hordókról visszaverődő fény színe mérését kevesebb, mint 15 perc alatt végeztük el, ezalatt a megvilágítási körülmények nem változtak. A hordókat borító bőrokról visszaverődő fény $I(\lambda)$ spektrumát a $350\text{nm} \leq \lambda \leq 850\text{nm}$ hullámhossz tartományban mértük egy spektrométerrel (Ocean Optics

STS-VIS, Largo, Egyesült Államok). Egy adott hordónál a felületéről visszaverődő fény spektrumát 5 különböző helyen mértük, a mérési eredményeket átlagoltuk, majd kiszámoltuk az

$$INT_{\text{barrel}} = \int_{350\text{nm}}^{850\text{nm}} I(\lambda) d\lambda \quad (5.1)$$

integrált és a wh fehérségi indexet

$$wh = \frac{INT_{\text{barrel}}}{INT_{\text{white cattle}}}, \quad (5.2)$$

ahol $INT_{\text{white cattle}}$ a fehér marhabőr fehérsége. Az 5.2 képlet értelmében a fehér marhabőr fehérségi indexe $wh = 1$, míg a fekete marhabőrre 0-hoz közeli érték. A szürkeárnyalatos bőrok wh értéke a két szélső érték között helyezkedik el.

5.2.5. A hordók maghőmérséklet-átlagának összehasonlítása

A hordók maghőmérsékletének átlaga és szórása

Minden napra kiszámoltuk a hordók maghőmérsékletének átlagát és szórását. Az 1–3. kísérletekben a 12:00–18:00 óra (nyári időszámítás) közötti mérési adatokat, míg a 4. kísérletben a 12:00–17:00 óra közötti mérési adatokat használtuk a számoláshoz. A maghőmérsékletek átlagát és szórását meghatároztuk csak a meleg napokra is, amikor a napi átlaghőmérséklet 25°C fölött volt, ugyanis a meleg napokon valószínűbb, hogy kialakultak a hipotézis szerinti hűtő légörvények.

Statisztikai kiértékelés

ANOVA és Bonferroni post-hoc teszt használatával vizsgáltuk, hogy van-e szignifikáns különbség a hordók maghőmérséklete között. A statisztikai elemzés során a bemeneti adat a hordók napi átlaghőmérséklete volt. A statisztikai tesztet elvégeztük az összes napra és csak a meleg napokra, amikor a napi átlaghőmérséklet 25°C fölött volt. A statisztikai elemzéshez a Statistica 7.0 programot használtuk.

5.2.6. Időkésleltetés megállapítása

A hordók felületén bekövetkező bármilyen hőmérséklet-változás valamekkora Δt időkéssleltetéssel jelentkezik a vízzel töltött hordók maghőmérsékletében. A Δt értékét keresztkorreláció segítségével határoztuk meg. Az alábbi képlet alapján minden mérési sorozat legmelegebb napjának (1. kísérlet: június 28., 2. kísérlet: július 20., 3. kísérlet: augusztus 10. és 4. kísérlet: szeptember 1.) adatait használva, minden hordónál meghatároztuk a $CC(\delta)$ keresztkorrelációs

értéket az $5 \text{ perc} \leq \delta \leq 240 \text{ perc}$ értékekre, 5 perces felbontásban:

$$CC(\delta) = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} T_{\text{air}}(\tau) T_{\text{core}}(\tau + \delta) d\tau, \quad (5.3)$$

ahol $t_{\min} = 6:00$ óra és $t_{\max} = 20:00$ óra, $T_{\text{air}}(\tau)$ és a $T_{\text{core}}(\tau)$ pedig a mért levegő- és maghőmérséklet sorozat. A maximális $CC(\delta)$ értékhez tartozó δ a keresett Δt időkézés becslése. A keresztkorrelációs számolásokat az R Statisztikai programmal [57] végeztük.

5.2.7. A hordók maghőmérsékletének összehasonlítása T^* és w^* szűréssel

Feltételeztük, hogy a csíkok fölötti légörvények kialakulásának két fő meteorológiai előfeltétele, hogy a léghőmérséklet magasabb legyen egy T^* küszöbértéknél és a szélesség egy w^* küszöbérték alatt legyen. Mivel ezekről nem találtunk információt a szakirodalomban, ezért a kiértékelést a $25^\circ\text{C} \leq T^* \leq 37^\circ\text{C}$ és $1 \text{ km/h} \leq w^* \leq 10 \text{ km/h}$ tartományban végeztük fokenként és 1 km/h -s lépésközzel.

A termoregulációs hipotézis szerinti légörvények akkor alakulhatnak ki a csíkos bőrrel fedett hordók felülete fölött, ha a $T_{\text{air}} \geq T^*$ és $w \leq w^*$ feltételek egyszerre teljesülnek. A kialakuló légörvények Δt időkézással csökkentik a hordó maghőmérsékletét. Először meghatároztuk azokat a t_{cooling} időpontokat, amikor mindkét feltétel teljesült, majd az 5.4-es képlet alapján kiszámoltuk az adott hordó (T_{barrel}) és a műzebrabőrrel bevont hordó ($T_{\text{artificial zebra}}$) maghőmérsékletének

$$\Delta T(t_{\text{cooling}}, \Delta t) = T_{\text{barrel}}(t_{\text{cooling}} + \Delta t) - T_{\text{artificial zebra}}(t_{\text{cooling}} + \Delta t) \quad (5.4)$$

különbségét. Minden esetben a műzebrabőrrel bevont hordó $T_{\text{artificial zebra}}$ maghőmérséklete volt a referencia, mivel ezt a hordót mind a négy kísérletsorozatban használtuk.

Statisztikai kiértékelés

A Python (v2.7.12) programnyelv Scipy moduljának használatával minden T^* , w^* és Δt értékre kapott maghőmérséklet-adatsorra Wilcoxon párosított tesztet (Wilcoxon signed-rank test) futtattunk le, hogy statisztikai különbséget találjunk a műzebrabőrrel bevont hordó és a barnásszürke lóbőrrel, a szürkemarhabőrrel és a valódi zebrabőrrel bevont hordók között. A statisztikai elemzést csak akkor futtattuk le, ha az N elemszám (azon esetek száma, amikor a $T_{\text{air}} \geq T^*$ és $w \leq w^*$ feltételek teljesültek) nagyobb volt 20-nál.

5.3. Eredmények

5.3.1. Léghőmérséklet és szélesebesség

A vízzel töltött hordók T_{core} maghőmérsékletét befolyásoló két legfontosabb környezeti tényezőnek a T_{air} léghőmérsékletet és a w szélesebességet tekintettük. A négy kísérletsorozat minden napján a léghőmérséklet a napfelkeltét követően emelkedett, kora délután volt a legmagasabb, majd csökkenni kezdett. A vártnak megfelelően [140] a szélesebesség ugyanezt a mintázatot követte (Függelék 6.2–6.5. ábrái a 74–77. oldalakon). A T_{air} és w közötti erős pozitív korreláció (amely egy jól ismert meteorológiai jelenség, általánosítható Afrikára is) csökkenti annak valószínűségét, hogy a zebracsíkok felett kialakuló légörvényeknek hűtő hatása lenne: a meleg időszakban, amikor a hűtésre szüksége van az állatnak a nagyobb sebességű szél elfújhatja az örvényeket.

Konvektív légörvények csak a közel horizontális fekete és fehér csíkok határán alakulhatnak ki, amikor az egymás melletti fekete és fehér csíkok közötti $\Delta T_{\text{b-w}}$ hőmérséklet-különbség kellően nagy, és a w szélesebesség kellően alacsony. A kísérleti időszak teljes ideje alatt nem volt lehetőség a $\Delta T_{\text{b-w}}$ -t folyamatosan mérni, azonban feltehetően erős pozitív korreláció van a T_{air} és a $\Delta T_{\text{b-w}}$ között: minél nagyobb az előbbi, annál nagyobb az utóbbi. Ezért, hogy megbecsülhessük a lehetséges konvektív légörvények kialakulásának gyakoriságát, meghatároztuk azon esetek számát, amikor a $T_{\text{air}} \geq T^*$ és a $w \leq w^*$ feltételek együttesen előfordultak a kísérleti időszakban. Azt találtuk, hogy w^* csökkenésével és T^* növelésével jelentősen csökken a feltételeknek megfelelő esetek száma (Függelék 6.2–6.5. táblázatai a 90–91. oldalakon). Erősebb hűtés meleg időben ($T_{\text{air}} > 25 \text{ °C}$) szükséges, azonban 25 °C fölött elsősorban nagy szélesebesség ($w > 5 \text{ km/h}$) fordult elő, ami megakadályozta a légörvények kialakulását a vízszintes csíkok felett. Mindazonáltal a megnövekedett szélesebesség önmaga is hűti a zebrát, így a nagyobb szélesebesség hatékonyabban hűtheti az állatot, mint a feltételezett légörvények a csíkos felület fölött.

5.3.2. Hordók és valódi zebrák hőképe

A hordók felületi hőmérsékletét 2017. július 18., 30. és augusztus 5-én mértük hőkamerával. A hőképek kiértékelésekor a homogén színű bőrrel bevont hordók esetében felületi hőmérsékletet ($T \pm \sigma_T$ (átlag \pm szórás)), míg a csíkos felületeknél az egymás melletti fekete-fehér csíkok hőmérséklet-különbségét ($\Delta T_{\text{b-w}} \pm \sigma_{\Delta T}$) számoltuk. A hőmérséklet kiértékelését a hordók azonos részén, egy vízszintes vonal mentén végeztük (5.3. ábra). A fekete, szürke és fehér hordók felületi hőmérséklete reggel 8-tól délután 2-3 óráig folyamatosan, de nem mindig monoton módon emelkedett, majd a tetőzést követően csökkent (Függelék 6.6–6.8. táblázatai a 92–93. oldalakon). A vártnak megfelelően mindig a fehér és a fekete felületek voltak a leghidegebbek, illetve a legmelegebbek, míg a szürke felületek hőmérséklete a kettő közé esett. Ehhez hasonlóan a fekete

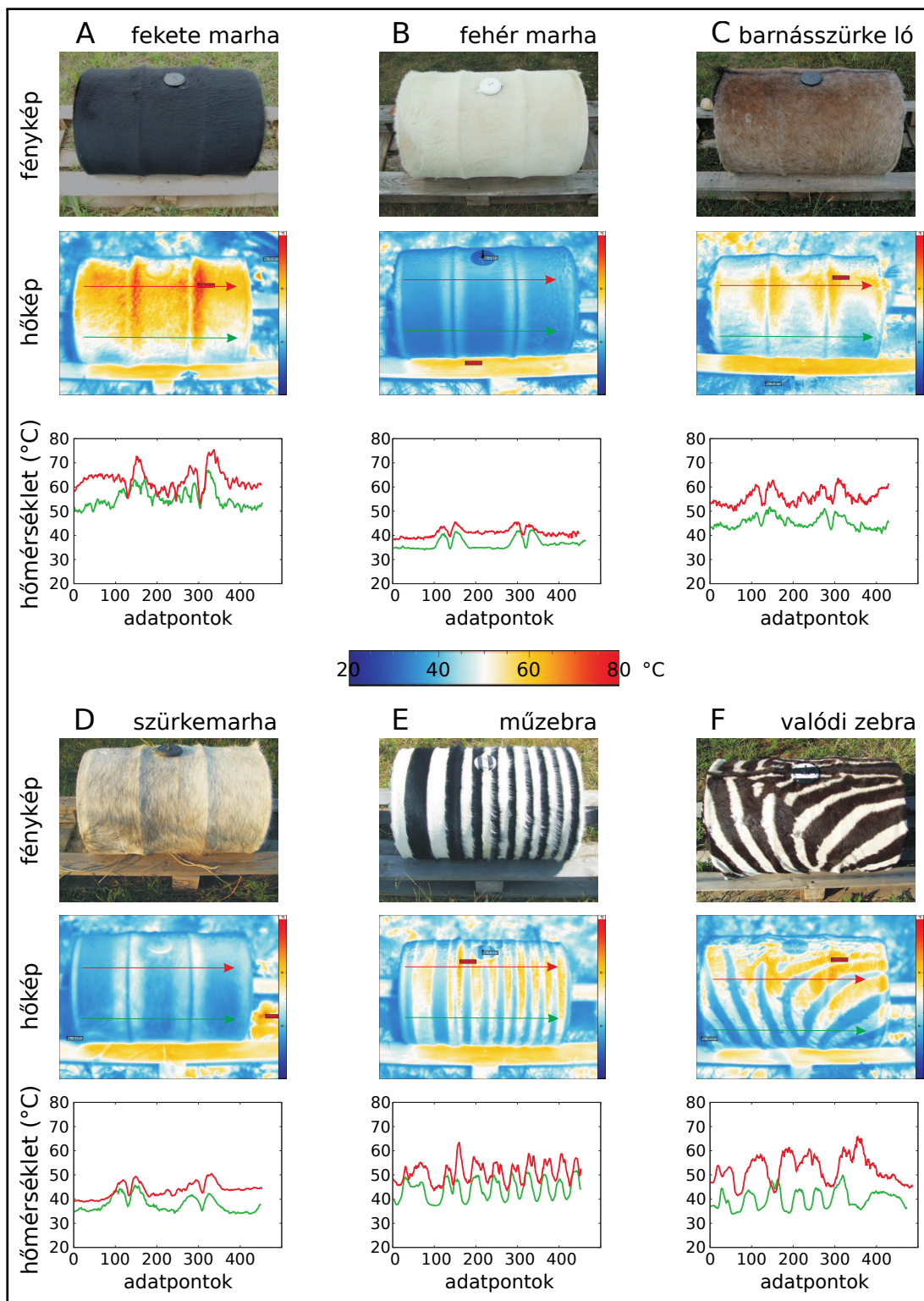
és fehér csíkok közötti hőmérséklet-különbség reggel 8-tól délután 2-3 óráig nőtt, majd csökkenni kezdett. A valódi zebrabőrön mért ΔT hőmérséklet-különbség általában magasabb volt, mint amit a műzebrabőrön mértünk. Délelőtt 11 és délután 5 óra között a valódi zebrabőrnel a hőmérséklet-különbség 7–18 °C volt, míg a műzebránál 6–12 °C. Ezekből az eredményekből megállapítható, hogy a csíkos hordók fekete-fehér csíkjai közötti hőmérséklet-különbség a napsütéses napokon 6 órán keresztül magas volt, így az örvények kialakulásának egyik előfeltétele (kellően magas hőmérséklet-különbség) biztosított volt ebben a hat órában.

Az 5.4. ábra a Budapesti Állat- és Növénykertben napsütötte és árnyékos zebrák (*E. q. boehmi*) fényképeit és hőképeit, továbbá a képeken jelölt nyilak mentén mért hőmérsékletet mutatja. A mérésekből megállapítható, hogy a csíkok között nagy hőmérséklet-különbség csak akkor alakul ki, ha direkt napfény éri az állatot. Árnyékos felületeken gyakorlatilag nincs hőmérséklet-különbség ($\Delta T < 0,2$ °C). Ez azzal magyarázható, hogy a fekete csíkok csak napfényen melegsznek fel, amikor több napfényt nyelnek el, mint a fehérek.

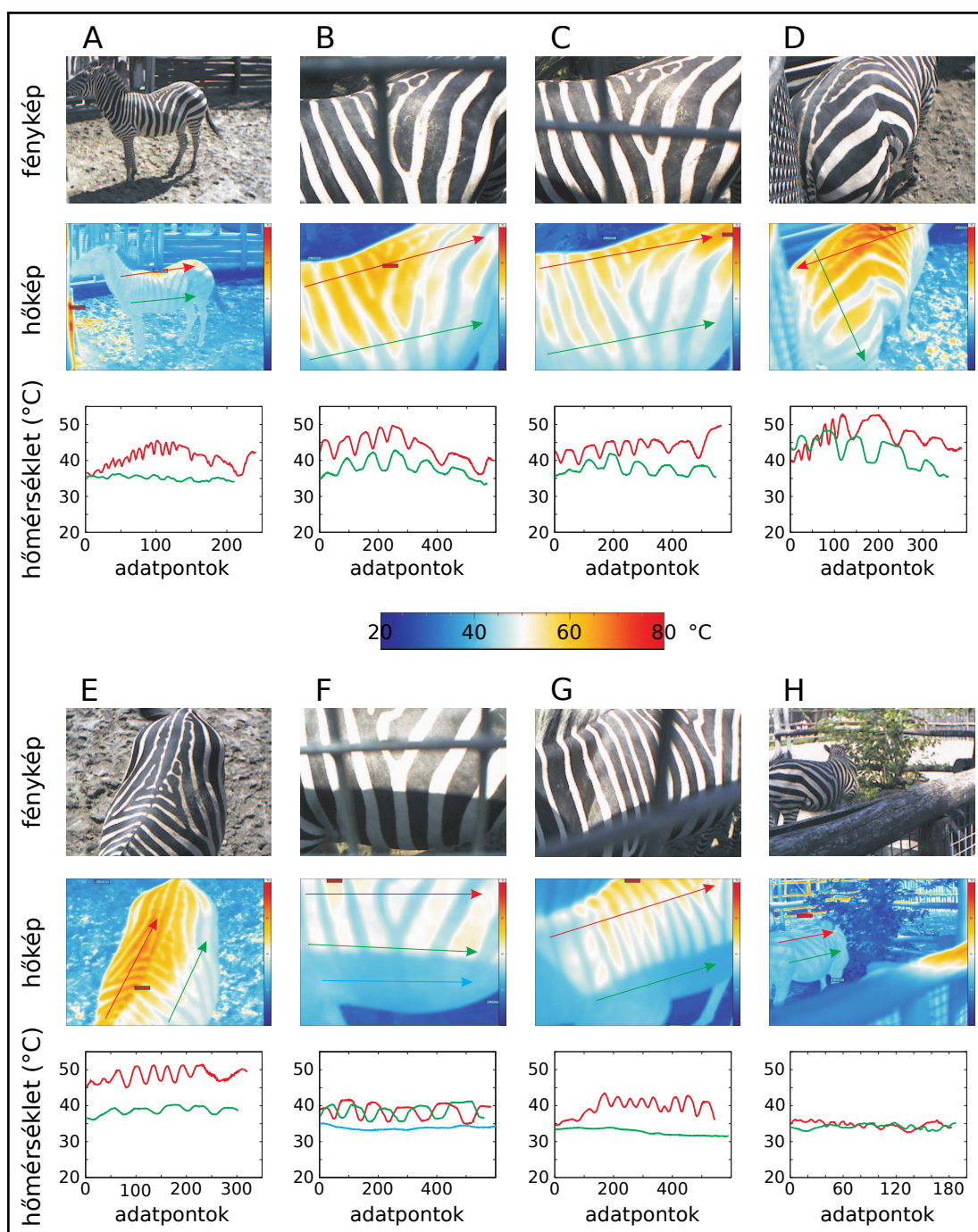
A hőképek vizsgálatából megállapítható, hogy a kísérleteinkben használt csíkos bőrök jól modellezték az élő zebrák bőrének hőmérsékleti tulajdonságait.

5.3.3. A hordókról visszaverődő fény színeképe

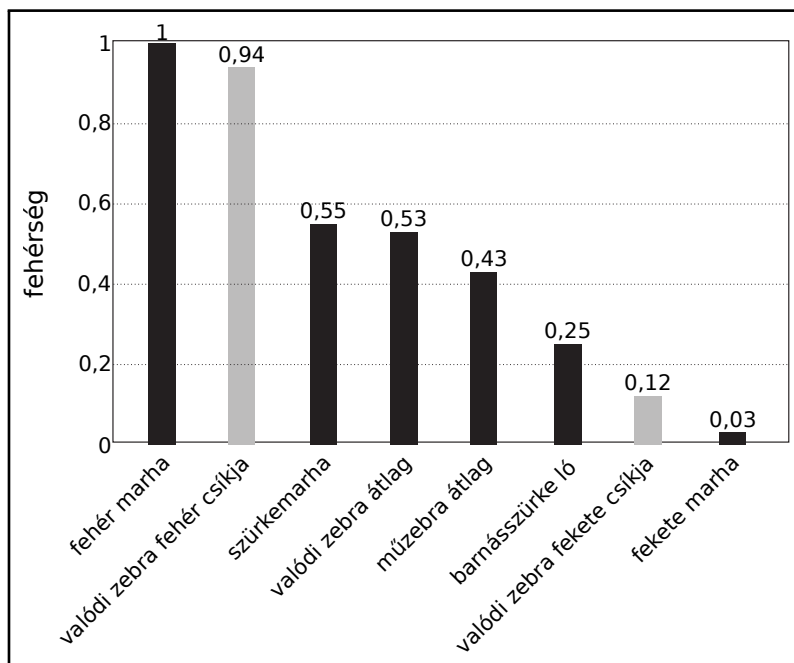
A műzebrabőr fekete és fehér csíkjainak színeképe megegyezett a fekete és a fehér marhabőrök színeképeivel, mivel a műzebrabőr fekete és fehér marhabőr-csíkokból készült. A valódi zebrabőr fekete csíkjai sötétbarnák voltak, a legtöbb fényt 600 és 750 nm között reflektálták (Függelék 6.6. ábrája a 78. oldalon). A valódi zebrabőr fehér csíkjának színeképe nagyon hasonló volt a fehér marhabőr színeképeéhez. A valódi zebrabőr és a műzebrabőr színeképének átlaga gyakorlatilag azonos volt a szürke marháéval. A barnásszürke lóbőr kissé barna színű volt, 600–650 nm között reflektálta a legtöbb fényt (Függelék 6.6. ábrája a 78. oldalon). A fehérséget a fehér marhabőrhez viszonyítva a szürkemarha-, valódi zebra-, szürke ló- és fekete marhabőr *wh* fehérségi indexe a következő: 0,55, 0,53, 0,43, 0,25 és 0,03 (5.5. ábra). Megjegyzendő, hogy a valódi zebrabőr fehérségi indexe (0,53) gyakorlatilag megegyezik a szürkemarháéval (0,55).



5.3. ábra. A terepkísérletekben használt hordók fényképei, hőképei és a hőképeken jelölt nyilak mentén mért hőmérséklet. A vörös és zöld nyilak kezdető- és végpontja megfelel a hőmérsékleti grafikonon lévő azonos színű görbék kezdető- és végpontjának. A fényképek és a hőképek nem egyszerre készültek.



5.4. ábra. A Fővárosi Állat- és Növénykertben élő zebrákról (*E. q. boehmi*) készült fényképek és hőképek napsütésben (A–G) és árnyékban (H). A hőmérsékleti grafikonok a hőképeken jelölt nyilak mentén mért hőmérsékletet ábrázolják. A nyilak kezdő- és végpontja megfelel a grafikonon lévő azonos színű görbék kezdő- és végpontjának. A fénykép és a hőkép között kis különbség van, ugyanis két különböző lencse rögzíti a fényképet és a hőképet, emiatt a két lencse eltérő szögben látja a tárgyat. Ezért a B, C, F és G ábrákon a fényképezőgép lencséje előtt látszódik a kerítés fémdrótja, míg a hőképeken a fémdrót nincs jelen.



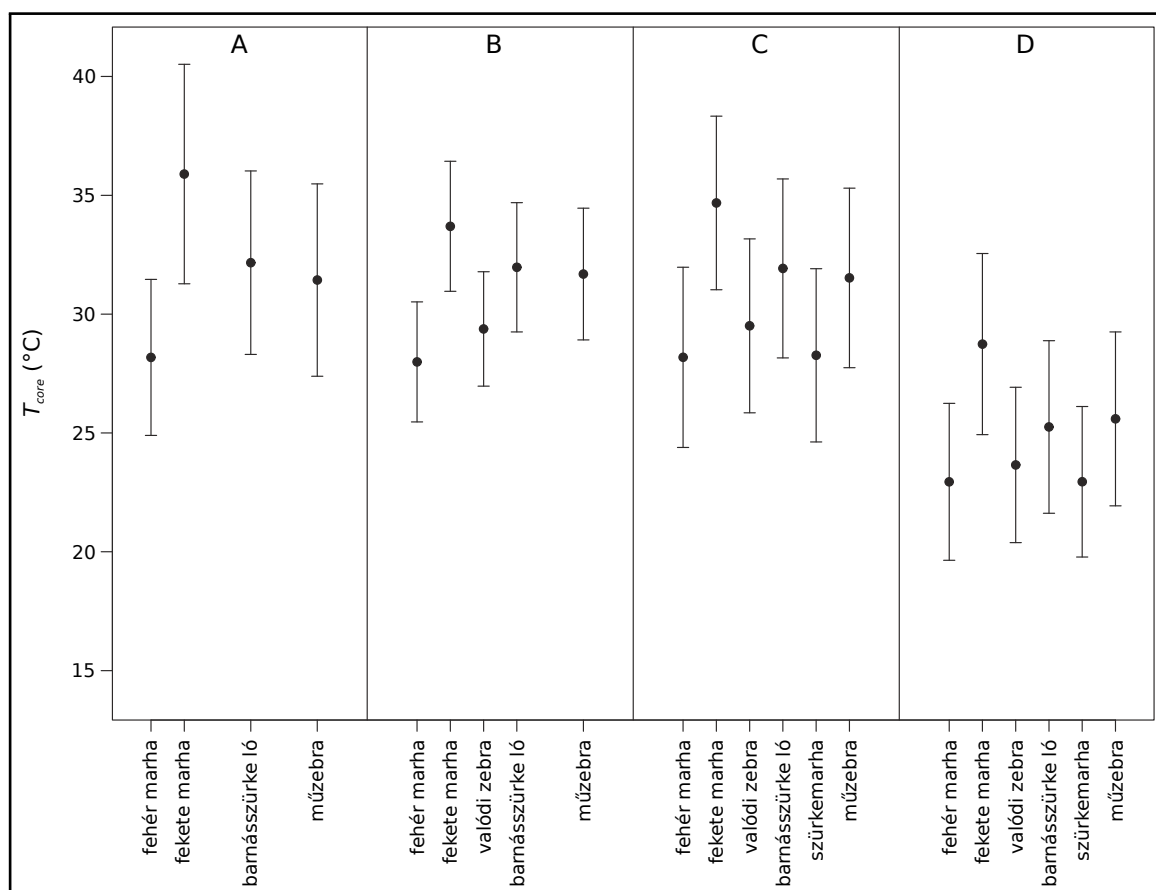
5.5. ábra. A terepkísérletekben használt bőrok az 5.2 képlet alapján számolt wh fehérségi indexe. A valódi zebra bőr fehér és fekete csíkjainál az oszlop azért szürke, mert a mérési eredmények értelmezésénél csupán a kettő átlaga számít.

5.3.4. A hordók maghőmérséklet-átlagának összehasonlítása

Az 5.6. ábra a meleg napok (amikor a léghőmérséklet átlaga magasabb volt, mint 25°C) adataiból számolt T_{core} maghőmérséklet átlagát és szórását mutatja, míg a Függelék 6.7. ábrája (79. oldal) az összes kísérleti napra számolt T_{core} átlagokat és szórásokat mutatja. Az átlagokat júniusban, júliusban és augusztusban a 12:00 és 18:00 óra között mért adatokból, míg szeptemberben a 12:00 és 17:00 óra között mért adatokból számoltuk. Nem mutatható ki statisztikai különbség a szürke ló-, műzebra-, valódi zebra- és szürkemarhabőrökkel fedett hordók maghőmérséklete között. A fekete és fehér bőrokkel bevont hordók maghőmérséklete szignifikánsan különbözött a homogén szürke és csíkos bőrokkel fedett hordók maghőmérsékletétől. A fehér hordó maghőmérséklete mindig szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a fekete hordó hőmérséklete. A statisztikailag szignifikáns különbségeket az 5.1. táblázatban foglaltam össze.

5.3.5. Időkésleltetés megállapítása

A négy kísérleti sorozat legmelegebb napjain (június 28., július 20., augusztus 10. és szeptember 1.) a reggel 6 és este 8 óra közötti időszakra minden hordónál meghatároztuk a léghőmérséklet és a hordó maghőmérséklet közti Δt időeltolódást. A kísérleti naptól, a meteorológiai körülményektől és a hordóra rögzített bőrtől függően Δt értéke 15 és 120 perc között mozgott, általában



5.6. ábra. A hordók maghőmérsékletének átlaga és szórása a terepkísérletek meleg napjain, amikor a léghőmérséklet átlaga 25 °C-nál magasabb volt (A: 1. kísérletsorozat, B: 2. kísérletsorozat, C: 3. kísérletsorozat, D: 4. kísérletsorozat).

5.1. táblázat. A hordók maghőmérsékletének statisztikailag szignifikáns különbségei ($p < 0,05$) az összes napra és csak a meleg napokra (amikor a léghőmérséklet $T_{\text{air}} > 25$ °C). Rövidítések: fehér marha (wc), fekete marha (bc), barnásszürke ló (gh), műzebra (az), valódi zebra (rz), szürkemarha (gc).

Összehasonlítás az összes napra

1. kísérletsorozat	wc < gh, wc < az, gh < bc, az < bc
2. kísérletsorozat	wc < gh, rz < bc
3. kísérletsorozat	rz < bc, gc < bc
4. kísérletsorozat	gc < bc

Összehasonlítás csak a meleg napokra

1. kísérletsorozat	wc < gh, wc < az, gh < bc, az < bc
2. kísérletsorozat	wc < gh, wc < az, rz < bc
3. kísérletsorozat	rz < bc, gc < bc
4. kísérletsorozat	rz < bc, gc < bc

a fekete hordónál volt a legkisebb (Függelék 6.9. táblázata a 93. oldalon). A Δt erős ingadozása miatt a további számításainkat a következő Δt -kre végeztük el: 0, 30, 60, 90 és 120 perc.

5.3.6. A hordók maghőmérsékletének összehasonlítása T^* és w^* szűréssel

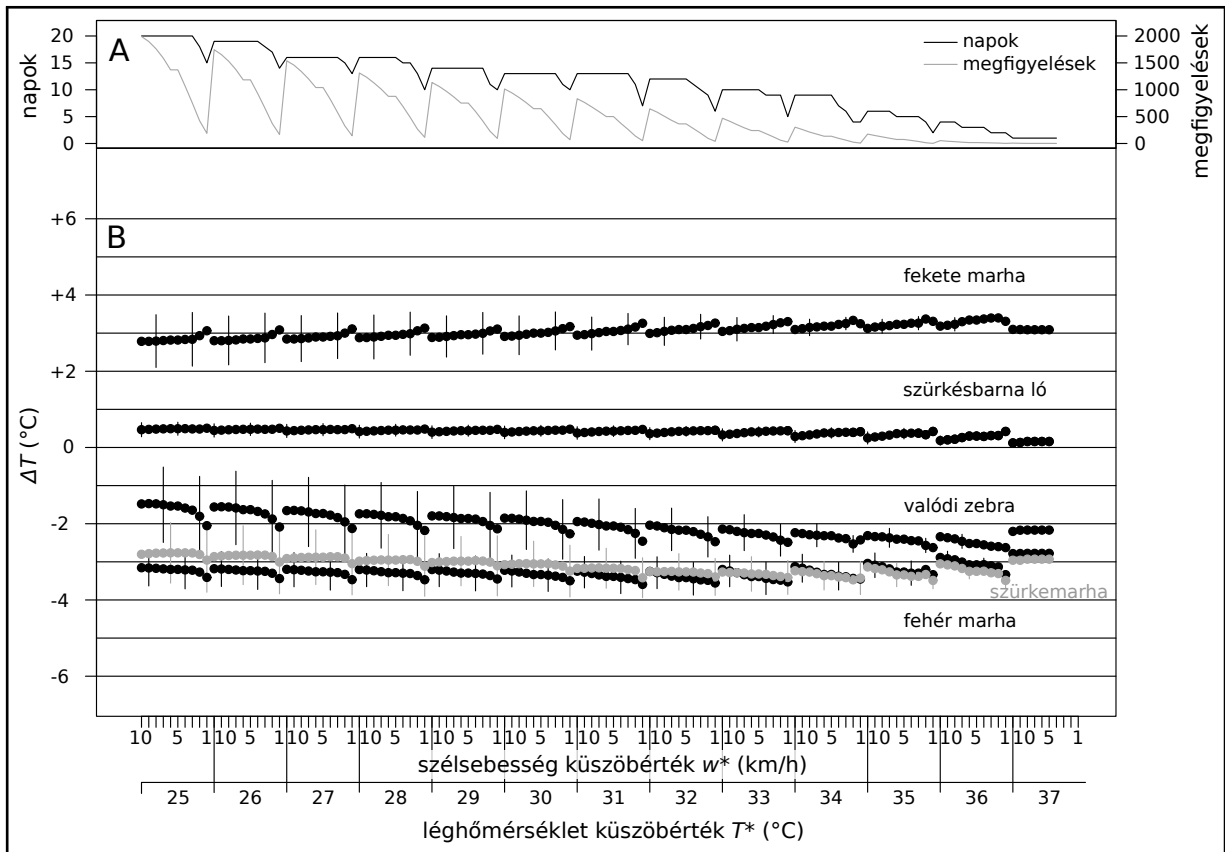
Az 5.7. ábra és a Függelék 6.8–6.26. ábrái (a 80–89. oldalakon) a maghőmérsékleti adatok összehasonlításait mutatják. Az 5.7. A ábrán a fekete vonal azon napok számát mutatja, amikor a w szélesség és a T_{air} léghőmérséklet legalább egy mérésnél egyszerre teljesítették a $w \leq w^*$ és $T_{\text{air}} \geq T^*$ feltételeket a 3. kísérletsorozatban. Az 5.7. A ábra szürke görbéje azon megfigyelések számát mutatja, amikor a $w \leq w^*$ és a $T_{\text{air}} \geq T^*$ környezeti feltételek együttesen teljesültek. Mind a napok száma, mind a megfigyelések száma drasztikusan csökkent w^* szigorításával. Ez azt jelenti, hogy kis szélességnél jóval kevesebb adatból számoltuk a hőmérséklet-különbségeket, mint magasabb (megengedőbb) w^* értéknél.

Az 5.7. B ábra az adott bőrrel bevont hordó (T_{barrel}) és a műzebrabőrrel burkolt hordó ($T_{\text{artificial zebra}}$) maghőmérséklete közti $\Delta T = T_{\text{barrel}} - T_{\text{artificial zebra}}$ hőmérséklet-különbségek átlagát és szórását mutatja. A szélesség w^* küszöbértéket 10 és 1 km/h között, míg a T^* léghőmérséklet küszöbértéket 25–37 °C között változtattuk. Az egyre szigorodó w^* és T^* feltételek azon eseteknek kedveznek, amikor kialakulhatnak a zebracsíkok fölött hűtő légörvények. Az 5.7. B ábrán látható, hogy a fekete hordó maghőmérséklete átlagosan 3–3,5 °C-kal minden w^* , T^* értéknél melegebb volt a műzebrabőrrel fedett hordó maghőmérsékleténél. A műzebrabőrrel bevont hordó maghőmérsékletéhez viszonyítva a fehér marhabőrrel és szürke marhabőrrel bevont hordók maghőmérséklete 3–3,5 °C-kal mindig alacsonyabb volt, a barnásszürke lóbőrrel bevont hordó 0–0,5 °C-kal melegebb volt, és a valódi zebrabőrrel bevont hordó 1,5–2,5 °C-kal hidegebb volt.

A Δt időképletetéstől függetlenül a következő hordó-pároknál a Wilcoxon párosított teszt erősen szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,0001$): műzebra/barnásszürke ló, műzebra/szürkemarha, műzebra/valódi zebra. Ezek a szignifikáns különbségek azonban csupán annyit jelentenek, hogy a hordók maghőmérséklete egymáshoz képest szinkronizáltan változott. Még abban az esetben is, amikor a hőmérséklet-különbség csupán 0,1 °C vagy kisebb, de ez a különbség minden megfigyelésnél jelen van, a párosított Wilcoxon teszt eredménye erősen szignifikáns lesz. Ezért ez a statisztikai eredmény csak az állandóan fennálló hőmérsékleti különbséget bizonyítja.

A maghőmérséklet-különbségek egyszerűen megmagyarázhatóak a hordókat fedő bőrök fehérségi indexével: minél kisebb a bőr átlagos fehérsége, annál nagyobb a hordó maghőmérséklete. A hordók fehérsége csökkenő sorrendben a következő volt (5.5. ábra): fehér marha ($wh = 1$), szürkemarha (0,55), valódi zebra (0,53), műzebra (0,43), szürke ló (0,25), fekete marha (0,03). A hordók átlagos T_{core} maghőmérséklete emelkedő sorrendben ugyanezt a sorrendet adja: fehér marha < szürkemarha < valódi zebra < műzebra < szürke ló < fekete marha (5.7. ábra, valamint a Függelék 6.8–6.26. ábrái a 80–89. oldalakon).

Figyelemre méltó, hogy a hordók egymáshoz viszonyított maghőmérséklete független az időképletetéstől ($\Delta t = 0, 30, 60, 90, 120$ perc) és a környezeti körülményektől (szélesség-



5.7. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 3. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésleltetés $\Delta t = 60$ perc. (A) Fekete görbe: Azon napok száma, amikor a w szélesség és a T_{air} léghőmérséklet kielégíti a $w \leq w^*$ és a $T_{\text{air}} \geq T^*$ környezeti feltételeket. Szürke görbe: Azon megfigyelések száma, amikor a pillanatnyi w és T_{air} értékek megfelelnek a $w \leq w^*$ és a $T_{\text{air}} \geq T^*$ feltételeknek. (B) A különböző bőrrrel (fekete pontsorok fentről lefelé: fekete marha, szürkésbarna ló, fehér marha, szürke pontsor: szürkemarha) bevont hordók és a műzebra bőrrrel bevont hordó maghőmérsékletének $\Delta T = T_{\text{barrel}} - T_{\text{artificial zebra}}$ különbsége. A felső vízszintes tengely a szélesség küszöbértékét jelzi, amely periodikusan változik 10 km/h-ról 1 km/h-ra, míg az alsó vízszintes tengely a T^* léghőmérséklet küszöbértékét mutatja 25–37 °C között. A minden 5. ponton elhelyezett függőleges vonal a szórást mutatja. A jobb láthatóság érdekében csupán minden ötödik ponton jelöltem a szórást. A többi kísérletsorozatra és Δt -re kapott eredményeket a Függelék 6.8–6.26. ábrái mutatják a 80–89. oldalakon.

ség küszöbérték és levegő hőmérséklet küszöbérték, lásd 5.7. ábra, valamint a Függelék 6.8–6.26. ábrái a 80–89. oldalakon). A változó w^* és T^* küszöbértékeknek csekély hatása volt: csökkenő w^* enyhe íveket eredményezett a $\Delta T(w^*, T^*)$ görbéken, általában növekvő hőmérséklet-különbséggel, míg a növekvő T^* hatására kissé nagyobb lett a hőmérséklet-különbség. Mind egyik kísérletsorozatban csökkenő w^* és növekvő T^* hatására drasztikusan csökkent azon N megfigyelések száma, amikor a $w \leq w^*$ és $T_{\text{air}} \geq T^*$ feltételek együttesen teljesültek. Kis N esetén a véletlen hatásoknak nagyobb befolyása volt a maghőmérséklet-különbségekre. Ahogy N csökkent (párhuzamosan azon napok számával, amikor a $w \leq w^*$ és a $T_{\text{air}} \geq T^*$ feltételek

teljesültek), a ΔT szórása szintén csökkent. Mind a négy kísérleti sorozat esetében a 0–120 perces időkésleltetéssel számolt $\Delta T(w^*, T^*)$ görbéket összehasonlítva a ΔT különbség mindig kisebb volt 0,5 °C-nál.

5.4. Eredmények értékelése

A termoregulációs hipotézis szerint napsütésben periodikus légáramlás alakul ki a zebracsíkos testfelszín fölött, amely a melegebb fekete csíkok fölött felszálló, a hidegebb fehér csíkok fölött pedig leszálló légáramlásból áll [25, 28, 44, 45]. Larison és munkatársai szerint [44] ez a strukturált áramlási rendszer csak a vízszintes vagy közel vízszintes felületek fölött alakulhat ki (5.1. ábra). Amennyiben a zebra testét nem éri direkt napfény, az áramlási rendszer nem jöhet létre, hiszen nincs vagy elhanyagolható a fekete és fehér csíkok közötti hőmérséklet-különbség (5.4. ábra). A fel- és leszálló légáramlások sora hűtheti a zebra testfelszínét, amely előnyös lehet meleg, napsütéses időben. Napsütésben, a terepkísérleteinkben használt csíkos hordók vízszintes felszíneinél ilyen légörvények kialakulhattak, különösen szélmentes időben. A csíkos hordóink felszínének hőmérsékleti mintázata megfelelően utánozta a valódi zebrákról készített hőképek mintázatait (5.3. és 5.4. ábrák, valamint lásd még [46, 141]). Ezek alapján a kísérleteink során használt csíkos hordóknál várható volt némi hűtő hatás detektálása a hasonló fehérségű szürke hordókhöz képest. Az elsődleges kérdésünk az volt, hogy napsütéses időben, a fekete-fehér csíkos felület fölött kialakuló strukturált áramlási rendszernek van-e hűtő hatása a hasonló fehérségű szürke bőrrel bevont, kontroll hordókhöz képest. Az eredmények kiértékelése során az adatsorban nem találtunk erre utaló jelet.

Ha napsütésben ki is alakult a fent említett áramlási rendszer a csíkos hordók fölött, annak nem volt kimutatható hűtő hatása a hordók maghőmérsékletében. A hordók maghőmérsékletében tapasztalt hőmérséklet-különbségek jól magyarázhatók a hordókat borító bőrök fehérségi indexében lévő különbségekkel (5.5. ábra), amely miatt az egyes hordók felülete különböző mennyiségű napfényt volt képes elnyelni. Eredményeink szerint meleg, napsütéses időben a fekete lovak és szarvasmarhák szenvednek legjobban a felmelegedéstől, a fehér testszőrzetűek érintettek a legkevésbé, míg a zebrák és a szürke testszínű állatok a kettő között melegszenek. Ezt az eredményt Caro [16] mérései is erősítik, aki zebrák mellett kafferbivalyokat (*Syncerus caffer* Sparrman, 1779), impalákat (*Aepyceros melampus* Lichtenstein, 1812) és zsiráfokat (*Giraffa camelopardalis* Linnaeus, 1758) vizsgált.

Meleg időben a zebrák (akárcsak egyéb patások [45, 142, 143, 144]) izzadással képesek hűteni a testfelszínüket (az izzadtság elpárolgása hőt von el a testfelszíntől), más állatok képesek megváltoztatni a véráramlásukat (mint például az afrikai elefántok (*Loxodonta spp.* Anonymous, 1827) fülének hűtése, vagy hóban a lovak patáinak termális izolációja). Terepkísérleteinkben nem modelleztük sem az izzadást, sem a véráramlás megváltozását. Ez lehet az elsődleges oka

annak, hogy a csíkos hordók egymás melletti fekete és fehér csíkjainak hőmérséklet-különbsége (5–16 °C) nagyobb volt, mint amit a Fővárosi Állatkertben élő zebrák egymás melletti csíkjainál mértünk (2–10 °C). Ehhez hasonlóan, Cena és Clark [46] alföldi- (*E. quagga*) és hegyi zebrákon (*E. zebra* Linnaeus, 1758) maximálisan 9 °C különbséget mértek az egymás melletti fekete és fehér csíkok között. Az izzadás és a véráramlás modellezésének hiánya nem gyengíti a terepkísérletekben kapott eredményeinket, mivel a kísérletek célja a csíkok feletti légörvények hűtésének detektálása volt, amelyeknek a felületek felett az izzadás és a véráramlás modellezése nélkül is ki kellett alakulniuk, és hatással kellett volna lenniük a hordók maghőmérsékletére.

Caro [16] több érvet sorol fel a zebracsíkok termoregulációja ellen:

1. a bevezetésben említett saját hőképes mérései,
2. a légörvények nem alakulhatnak ki szeles időben, illetve amikor az állat mozog,
3. a legtöbb meleg, száraz éghajlaton élő emlős világos színű (a mi kísérleti eredményeinkből is látható a világos testszín termoregulációs előnye),
4. a zebrákkal azonos élőhelyen élő egyéb patások nem csíkosak, azonban nekik is szükségük van a meleg elleni védelemre,
5. egyéb lófajták, például az ázsiai (*Equus hemionus* Pallas, 1775) és afrikai vadszamarak (*E. africanus* von Heuglin és Fitzinger, 1866) szintén élhetnek nagyon meleg, száraz éghajlaton, azok azonban nem csíkosak.

Terepkísérletünk eredményei szerint a zebracsíkos hordók maghőmérséklete nem különbözött jelentősen a közel azonos fehérségű homogén szürke hordók maghőmérsékletétől, valamint az egyre szigorúbb léghőmérséklet- és szélsébség küszöbértékek nem változtatták meg jelentősen a műzebra hordóhoz viszonyított maghőmérséklet-különbségeket.

A terepkísérletek során nem modelleztük a zebrák lábait, a hordók 10 cm-rel a talaj fölött, raklapokon voltak elhelyezve, ami nyilvánvalóan hatással volt a hordók környezetében lévő helyi szelek erősségére. Mivel a szélsébség a talajtól mért magassággal nő, ezért a zebra testének magasságában (1–1,5 m) erősebb a szél, mint a talaj közelében. Ennek megfelelően a hordókat kevésbé hűtötte a szél, és az esetlegesen kialakuló hűtő légörvények hatása jelentősebb lehetett, mintha a hordókat 1–1,5 méter magasságban rögzítettük volna. Mivel az összes hordó maghőmérsékletére egy adott időpillanatban ugyanaz a szél hatott, ezért a helyi szél a maghőmérséklet-különbségeket kevésbé befolyásolta.

A vérkeringés hatékonyan képes kiegyenlíteni a különböző testrészek eltérő hőmérsékletét [145]. A kísérleteinkben a hordókban lévő víz nem volt mozdulatlan, hiszen jól ismert fizikai jelenség, hogy már gyenge horizontális hőmérséklet-gradiens is konvektív áramlásokat vált ki, ami miatt a hordókban vízmozgás alakul ki. Ilyen horizontális hőmérséklet-különbség könnyen kialakulhatott a hordókban, mert azok hossz tengelye kelet–nyugati irányú volt, így a hordók északi, alsó negyedét sosem érte direkt napfény, így az mindig hidegebb volt a hordó többi részéhez képest.

Fontos megjegyezni, hogy a zebra testének oldalán és a lábakon lévő csíkozás termoregulációs szempontból előnytelen, hiszen ezen testrészek fekete csíkjai által elnyelt napfény melegítő hatását nem ellensúlyozhatja a csíkok felett kialakuló légörvények hűtő hatása (mivel a periodikus örvények csak a vízszintes vagy közel vízszintes felületek fölött alakulhatnak ki). Ennek ellenére a zebrák oldala és lába is csíkos. Továbbá az alföldi zebrák egyes alfajainál (*E. q. chapmani* Layard, 1865 és *E. q. burchellii* Gray, 1824) a fehér csíkok közepén megjelenik egy halványabb barnás, szürkés sáv, amely gyengíti a légörvények kialakulását. Ezen megfigyelések tovább gyengítik a hipotézist, miszerint a csíkozás a hűtő hatás miatt alakult volna ki.

Az emlősöknél több módszer fejlődött ki, amivel szabályozhatják a testhőmérsékletüket. Ilyen például a szőrzetszín, a szőr struktúrája vagy különböző fiziológiás mechanizmusok [142, 143, 144, 145, 146]. A terepkísérleteink eredményei azt sugallják, hogy a zebrák csíkozottsága nem része ezen módszereknek, mivel nem volt kimutatható hűtő hatása a zebracsíkos bőrfelületeknek.

5.5. A témában megjelent publikációim

A fejezet Horváth és munkatársai [147] cikke alapján készült, amihez a következő volt a hozzájárulásom:

- koncepció kialakítása,
- terepkísérletek előkészítése és elvégzése,
- eredmények kiértékelése,
- kézirat írása.

A tudományos publikációt két részes, magyar nyelvű ismeretterjesztő cikkben is összefoglaltuk [148, 149].

- [147] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÁKESSON S. Experimental evidence that stripes do not cool zebras. *Scientific Reports* 8 (2018), p. 9351. DOI: 10.1038/s41598-018-27637-1.
- [148] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÁKESSON S. Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata (1. rész). *Fizikai Szemle* 69(4) (2019), pp. 117–121.
- [149] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÁKESSON S. Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata (2. rész). *Fizikai Szemle* 69(5) (2019), pp. 147–154.

6. fejezet

Függelék

6.1. Függelék a 4. fejezethez

6.1. táblázat. A 4.1. és 4.2. ábrák képeinek forrásai.

Fénykép sorszáma	URL
1	https://www.gettyimages.com/detail/news-photo/kikuyu-woman-in-kenya-on-july-10-2009the-kikuyu-are-the-news-photo/120399172
2	https://www.gettyimages.com/license/120399174
3	https://www.gettyimages.com/license/120399169
4	https://www.gettyimages.com/license/120399173
5	https://www.gettyimages.com/license/120399171
6	https://www.gettyimages.com/license/120399177
7	https://hu.pinterest.com/pin/386957792959941519/
8	https://www.pinterest.co.kr/pin/476044623084648397/
9	https://hu.pinterest.com/pin/401453754258731590/
10	http://yourshot.nationalgeographic.com/photos/7181740/
11	https://www.alamy.com/stock-photo-mursi-boys-in-the-lower-omo-valley-of-ethiopia-68214304.html
12	http://pixdaus.com/body-paint-of-omo-tribes-ethiopia-jeremy-hunter-olympus-euro/items/view/228323/
13	https://www.gettyimages.fi/detail/photo/ethiopia-omo-valley-duss-an-elder-of-the-high-res-stock-photography/140332582
14	https://hu.pinterest.com/pin/453948837415968602/
15	https://hu.pinterest.com/pin/806918458211254877/
16	https://www.pinterest.co.kr/pin/318840848590183934/?lp=true
17	https://www.pinterest.co.kr/pin/362821313711784109/
18	https://www.pipermackayphotography.com/2015/12/suri-portraits/suri-body-paint-4/
19	https://www.flickr.com/photos/48286994@N05/8389998658
20	https://www.dnbstories.com/2017/05/the-wodaabes-wife-stealing-dance.html
21	https://furniture.digitalassetmanagement.site/edit

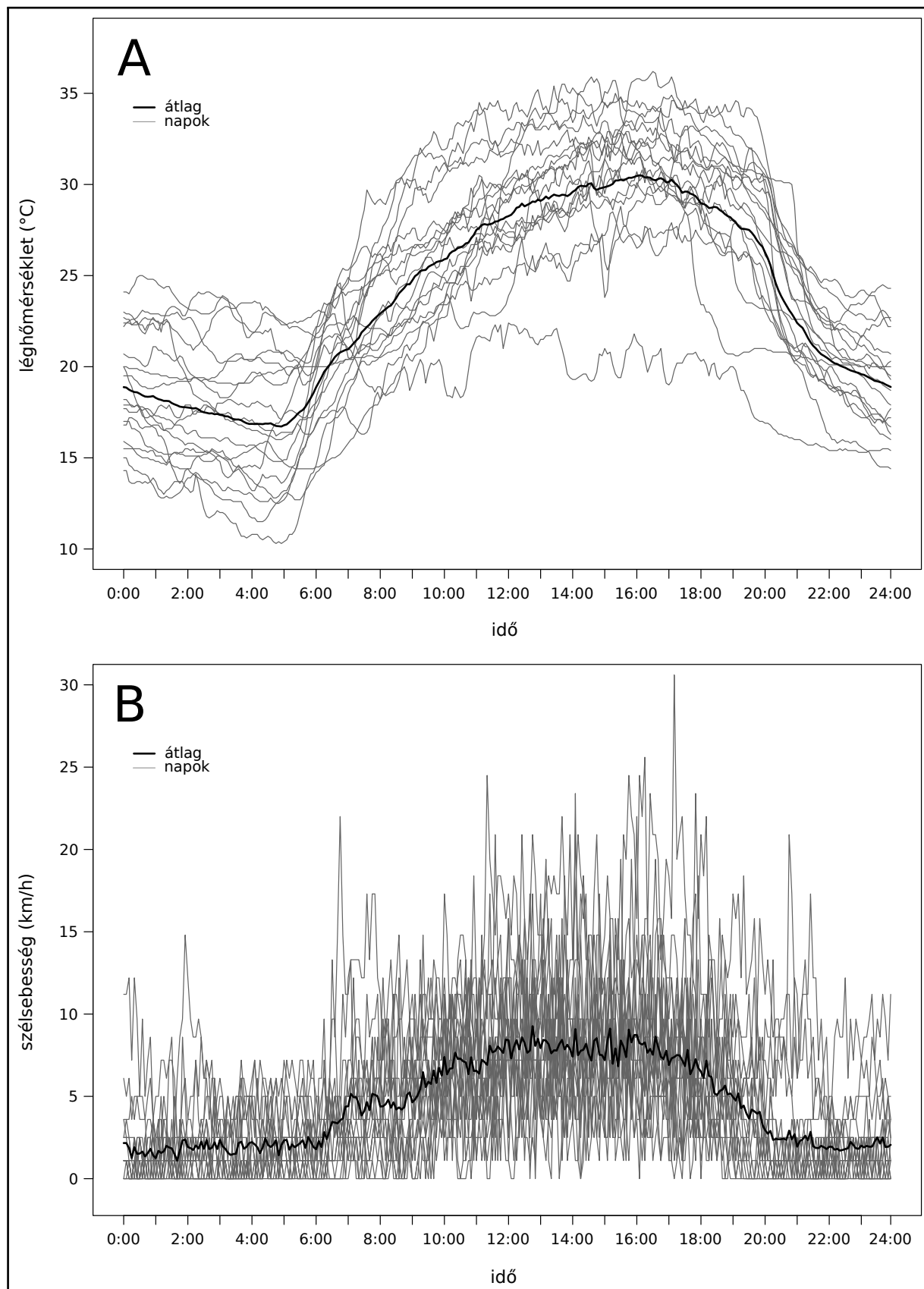
A táblázat a következő oldalon folytatódik...

Fénykép sorszáma	URL
22	https://www.alamy.com/stock-photo-portrait-of-a-young-aboriginal-boy-in-tribal-body-paint-laura-queensland-35476674.html
23	https://hu.depositphotos.com/58933205/stock-photo-yugambeh-aboriginal-body-coverd-with.html
24	https://www.alamy.com/stock-photo-aborigines-in-traditional-body-paint-wait-for-a-dance-ceremony-75508208.html
25	https://www.123rf.com/photo_45816580_portrait-of-one-yugambeh-aboriginal-warrior-man-preform-aboriginal-culture-martial-art-during-cultur.html
26	https://www.123rf.com/photo_45816537_portrait-of-one-yugambeh-aboriginal-warrior-demonstrate-fire-making-craft-during-aboriginal-culture-.html
27	https://www.123rf.com/photo_45816619_group-of-yugambeh-aboriginal-warriors-men-demonstrate-fire-making-craft-during-aboriginal-culture-sh.html
28	https://www.123rf.com/photo_19573458_aboriginal-man-performing-for-passing-tourists-australia-melbourne.html
29	http://spencerandgillen.net/objects/50ce72e9023fd7358c8a8534
30	https://blog.parksaustralia.gov.au/2012/07/19/southern-tanami-becomes-indigenous-protected-area/southern-tanami-indigenous-protected-area-launchsangster%C2%92s-bore-10-july-2012/
31	http://sydney.edu.au/news/84.html?newsstoryid=4238
32	https://ozoutback.com.au/Australia/marndiwala/slides/1992122310.html
33	https://www.thalabeach.com.au/kuku-yalanji/
34	http://www.abc.net.au/news/2014-09-26/jarlmadangah-dancers-men-281-of-129.jpg/5773034
35	http://desertriversea.com.au/art-centres/mowanjum-aboriginal-art-and-culture-centre
36	https://www.ngarrindjeri-culture.org/major-sumner/
37	http://www.abc.net.au/news/2013-04-25/indigenous-performer-opens-anzac-ceremony-in-melbourne/4652014
38	https://www.123rf.com/photo_11201177_new-guinea-indonesia-december-28-unidentified-warriors-of-a-papuan-tribe-in-traditional-clothes-and-.html?fromid=bWV0WG8wT2tocDUrMUQrZ3JTUWNazZ09
39	https://www.franceculture.fr/emissions/tout-un-monde/les-baruya-du-neolithique-la-modernite
40	http://www.new-guinea-tribal-art.com/wp/index.php/2012/01/29/huli-tribe/
41	http://www.kumeyaay.info/body_paint_pigments/indian_body_paint.html
42	http://www.kumeyaay.info/body_paint_pigments/index.html

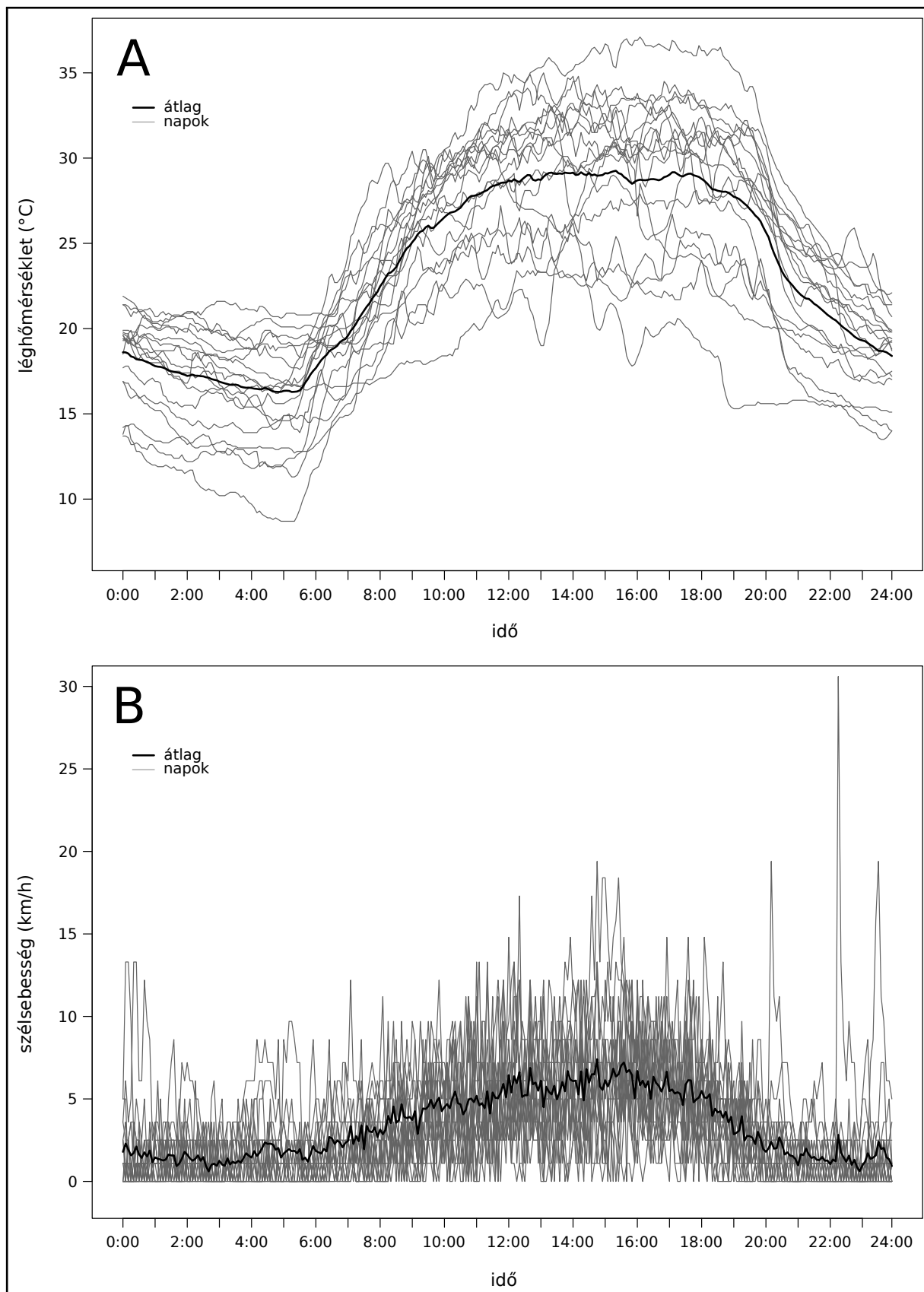
6.2. Függelék az 5. fejezethez



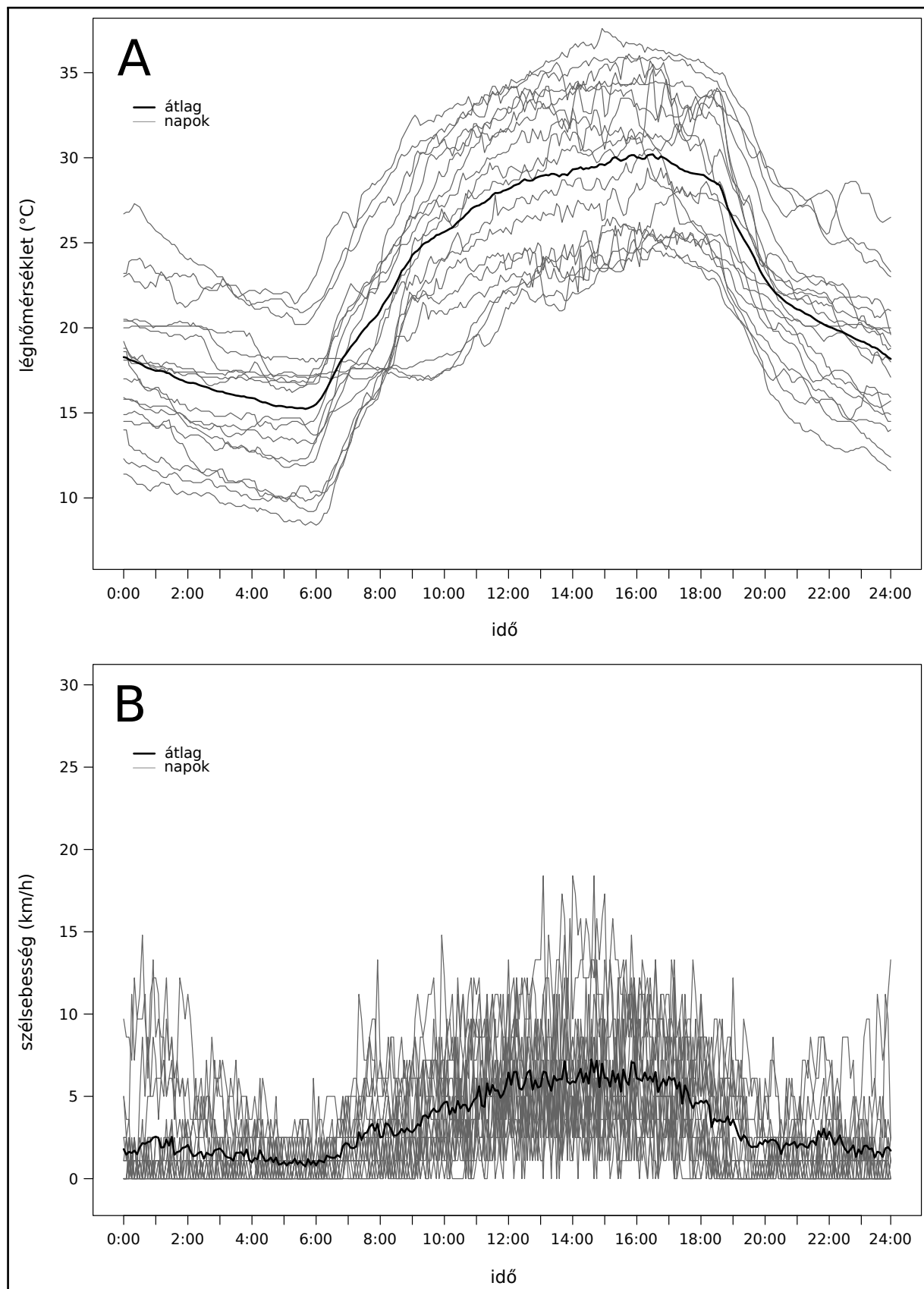
6.1. ábra. A terepkísérletek során használt hordók oldalról. A hordókat borító bőrok: fehér marha (A), fekete marha (B), barnásszürke ló (C), szürkemarha (D), múzebra (E) és valódi zebra (F).



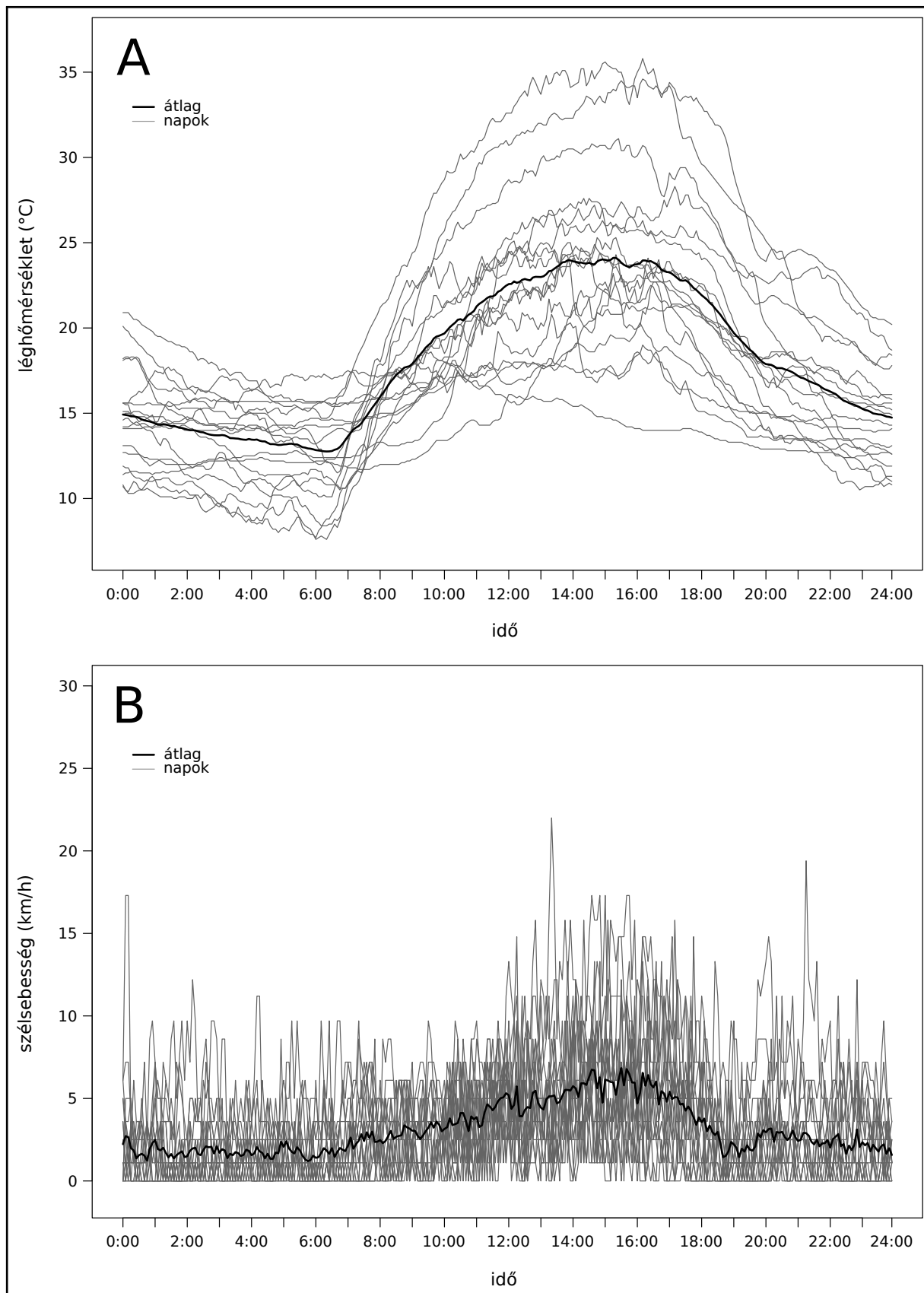
6.2. ábra. Az 1. kísérletsorozat során mért léghőmérséklet- (A) és szélsebesség (B) értékek 2017. június 10. és 30. között. A vízszintes tengelyen egy teljes nap van 0:00-tól 24:00 óráig.



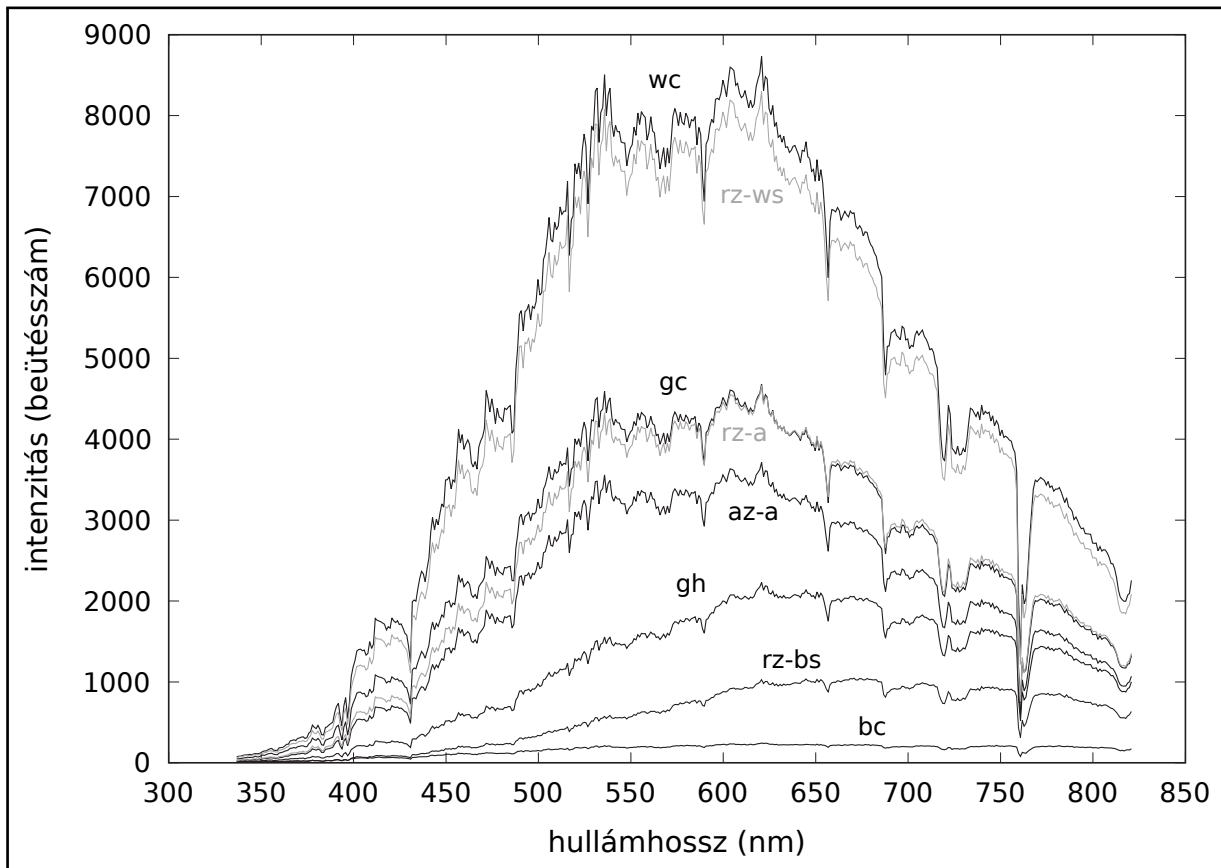
6.3. ábra. A 2. kísérletsorozat során mért léghőmérséklet- (A) és szélsebesség (B) értékek 2017. július 6. és 27. között. A vízszintes tengelyen egy teljes nap van 0:00-tól 24:00 óráig.



6.4. ábra. A 3. kísérletsorozat során mért léghőmérséklet- (A) és szélsebesség (B) értékek 2017. augusztus 5. és 26. között. A vízszintes tengelyen egy teljes nap van 0:00-tól 24:00 óráig.

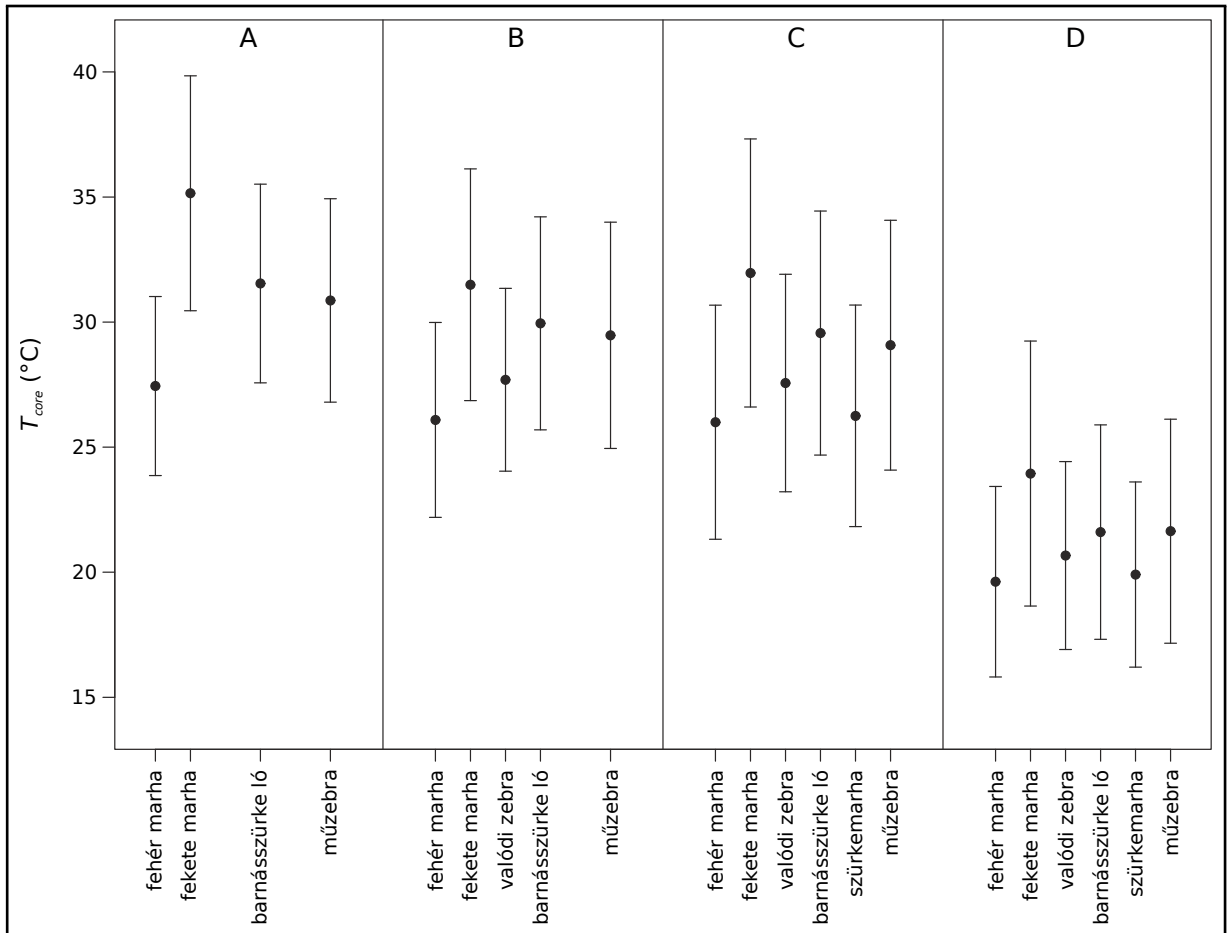


6.5. ábra. A 4. kísérletsorozat során mért léghőmérséklet- (A) és szélsebesség (B) értékek 2017. augusztus 30. és szeptember 19. között. A vízszintes tengelyen egy teljes nap van 0:00-tól 24:00 óráig.

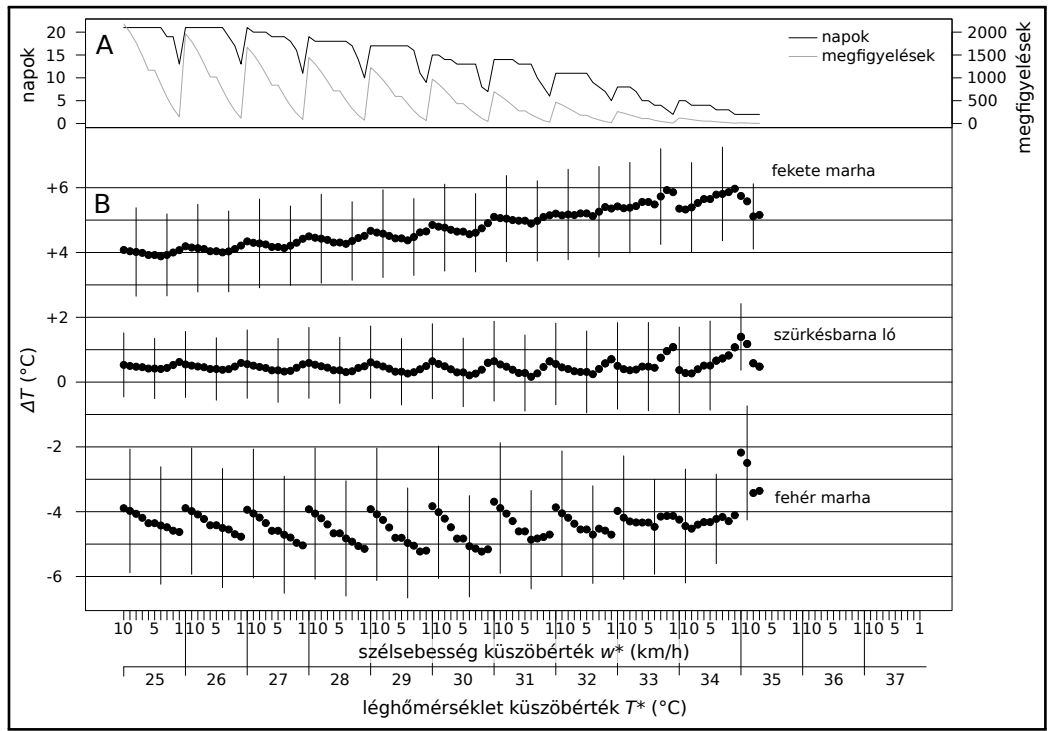


6.6. ábra. A terepkísérletek során használt bőrökről visszaverődő fény intenzitása (a mérőműszer által regisztrált beütésszám) a hullámhossz függvényében (350 és 850 nm között). A kódolások: fehér marha (wc), valódi zebra fehér csíkja (rz-ws), szürkemarha (gc), valódi zebra átlag (rz-a), múzebra átlag (az-a), szürkésbarna ló (gh), valódi zebra fekete csíkja (rz-bs), fekete marha (bc).

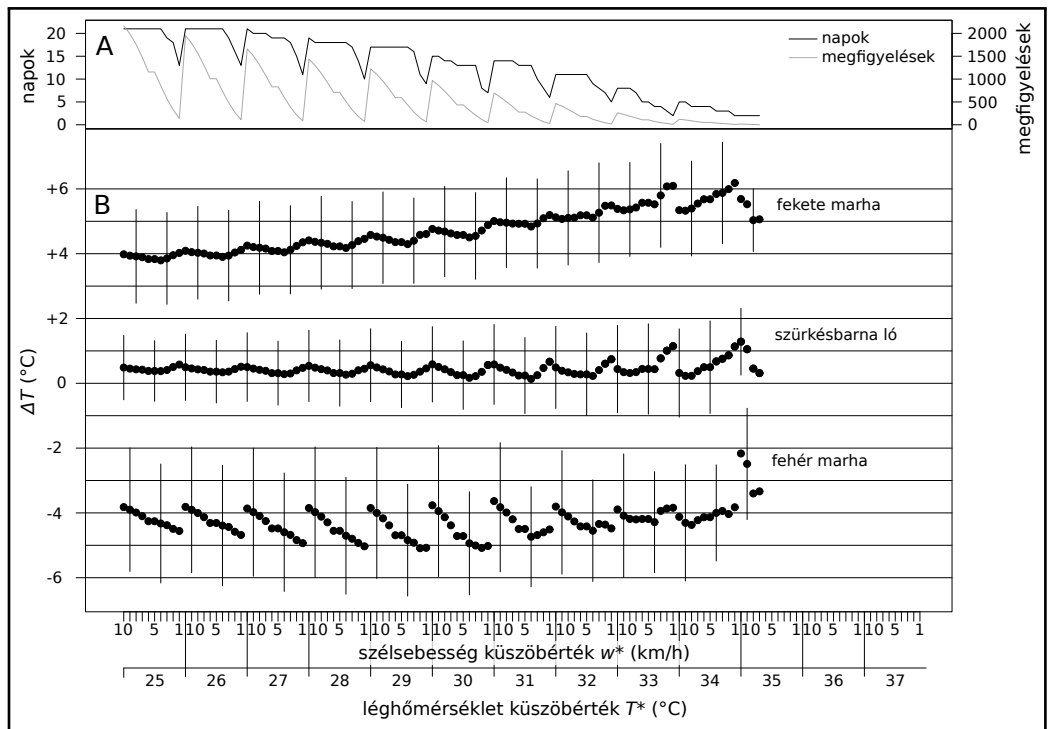
A múzebra fekete és fehér csíkjai fekete és fehér marhabőrökből készült, ezért azok görbéje megegyezik a fekete és fehér marhabőrökkel. A valódi zebra és múzebra átlagát a fekete és fehér csíkok átlagolásával számoltuk.



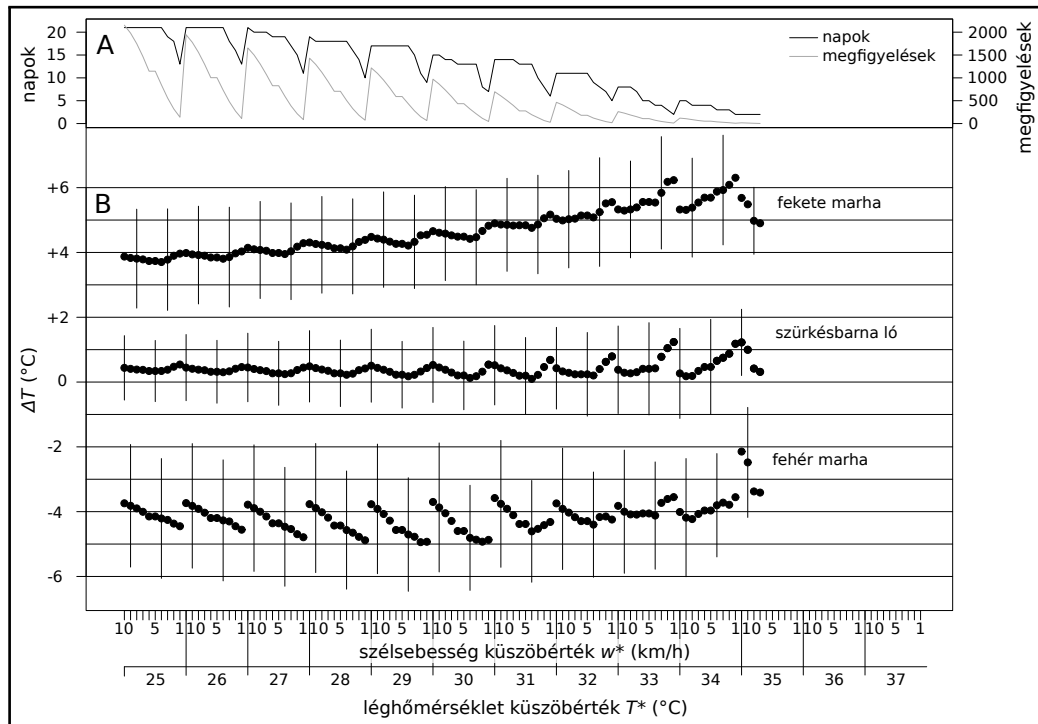
6.7. ábra. A hordók maghőmérsékletének átlaga és szórása a terepkísérletek összes napjára (A: 1. kísérletsorozat, B: 2. kísérletsorozat, C: 3. kísérletsorozat, D: 4. kísérletsorozat).



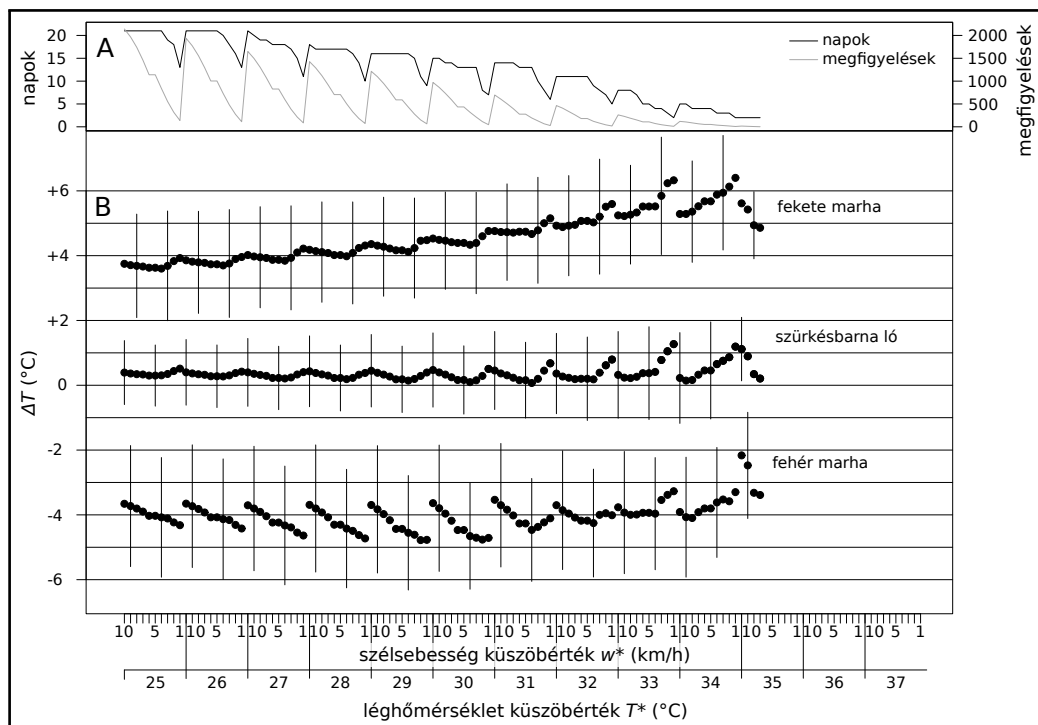
6.8. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai az 1. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 0$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



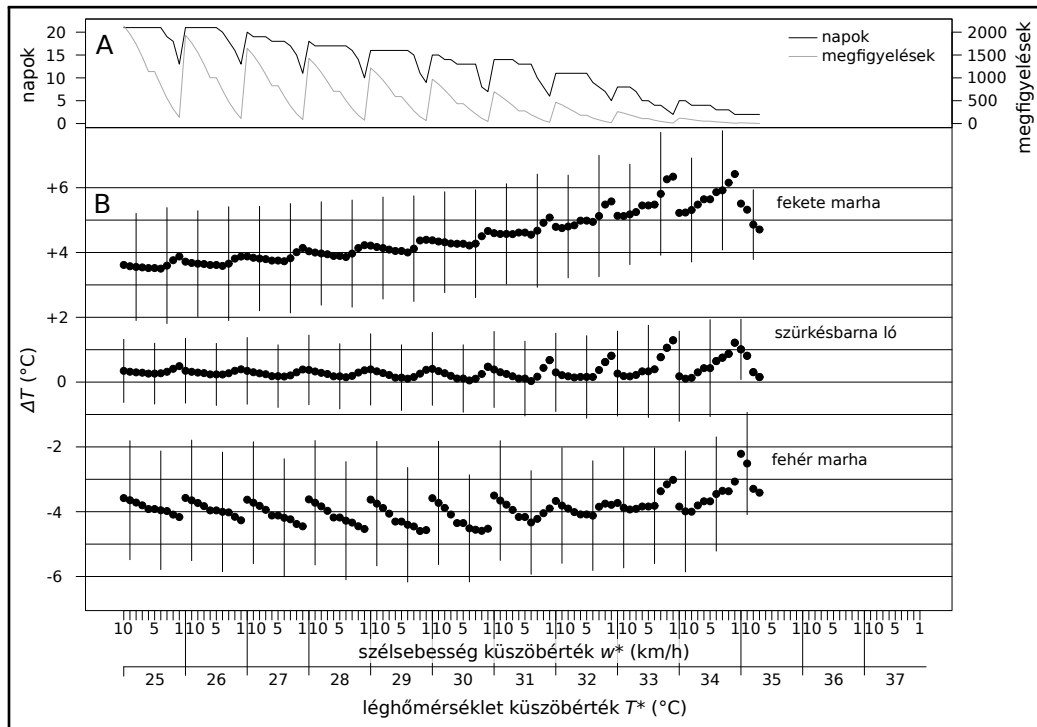
6.9. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai az 1. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 30$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



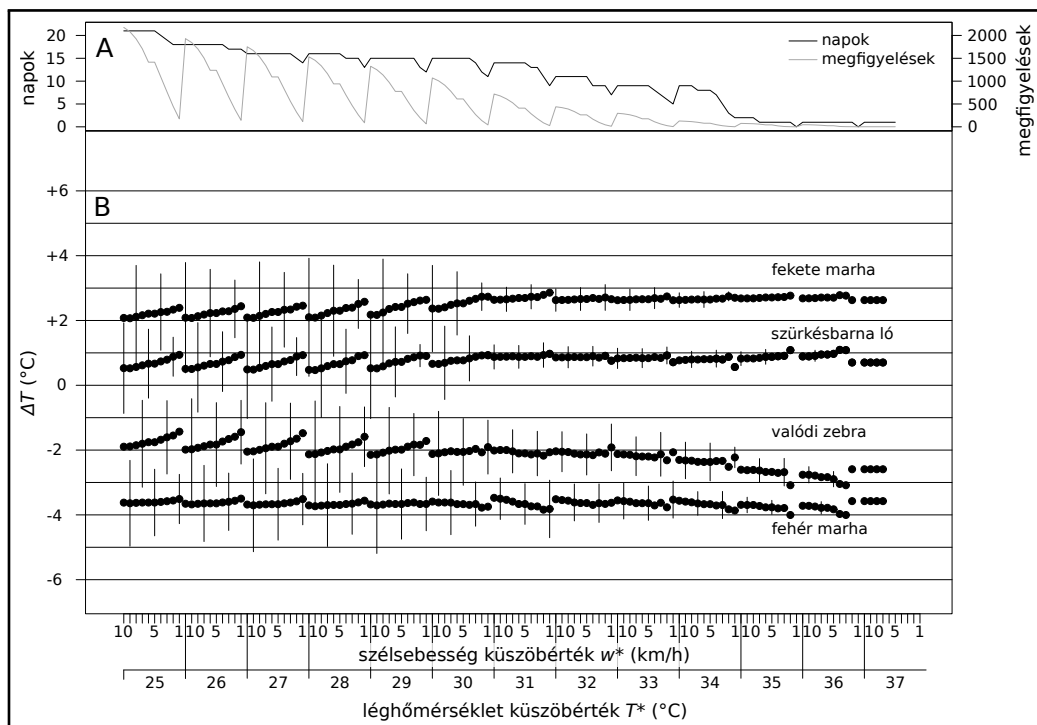
6.10. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai az 1. kísérletsorozat során mért adatokra, az időközleletetés $\Delta t = 60$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



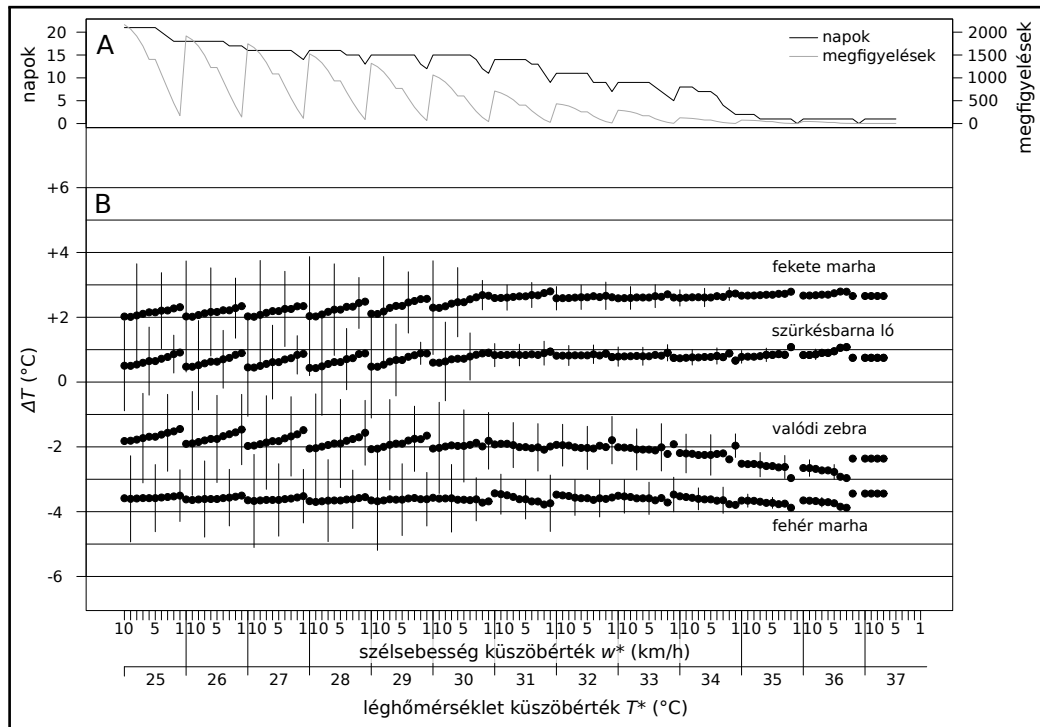
6.11. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai az 1. kísérletsorozat során mért adatokra, az időközleletetés $\Delta t = 90$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



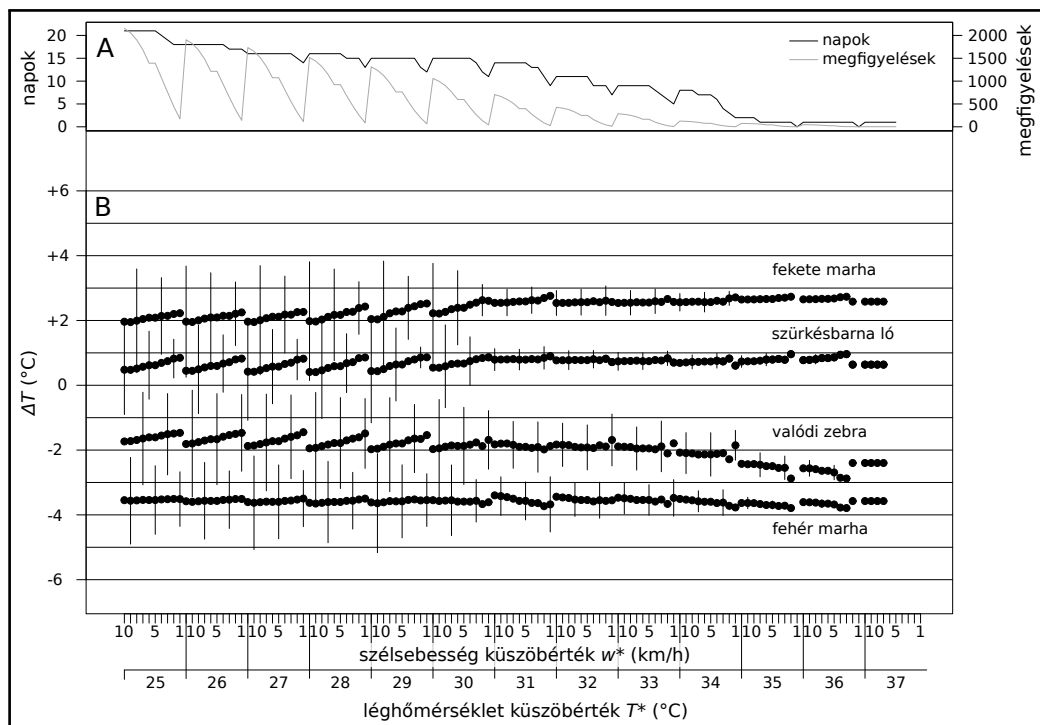
6.12. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai az 1. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 120$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



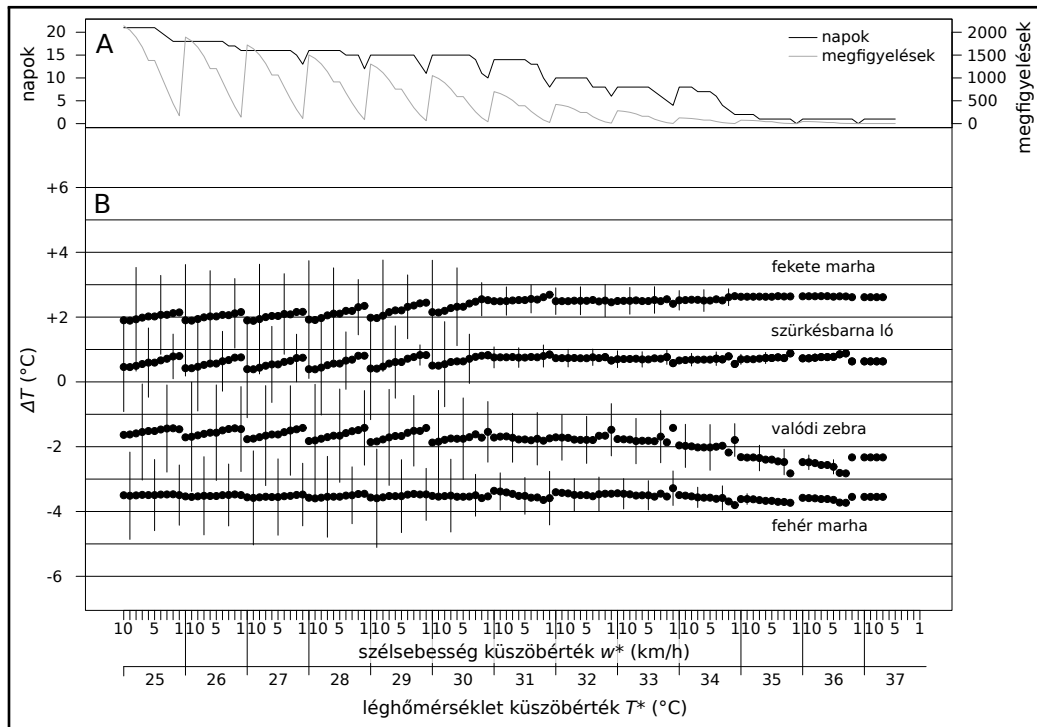
6.13. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 2. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 0$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



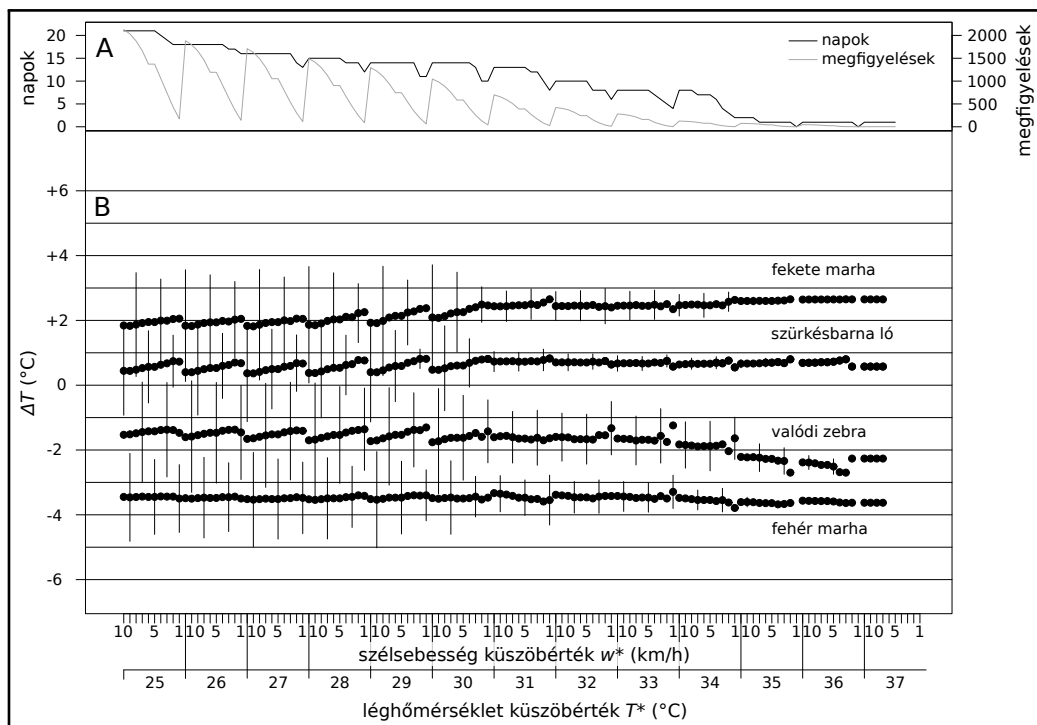
6.14. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 2. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 30$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



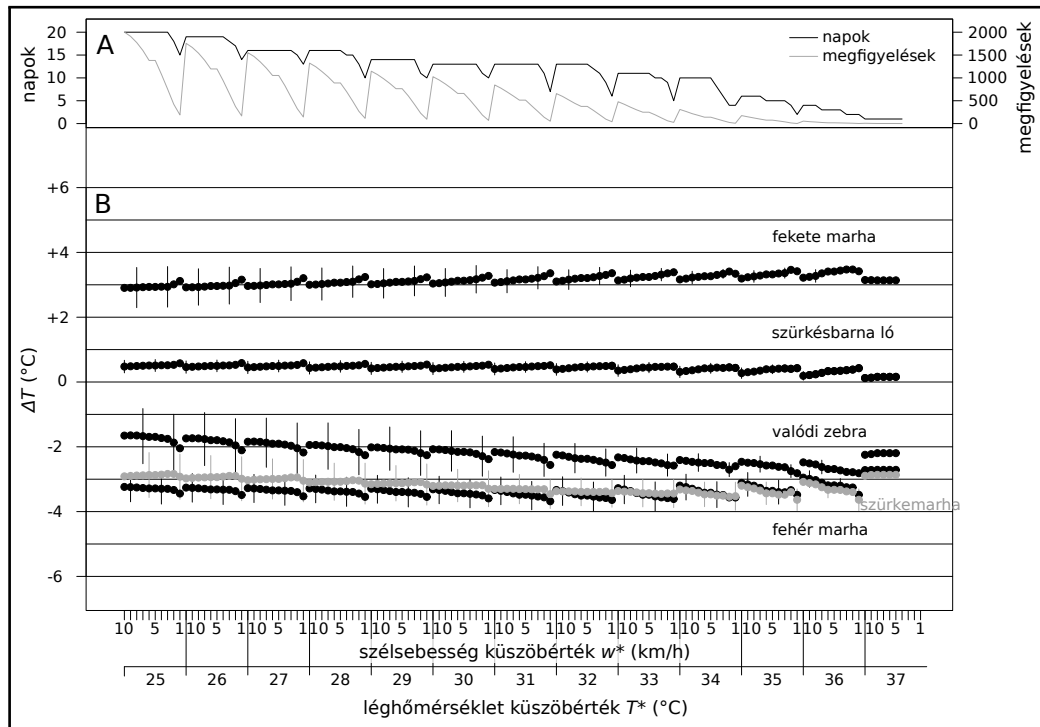
6.15. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 2. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 60$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



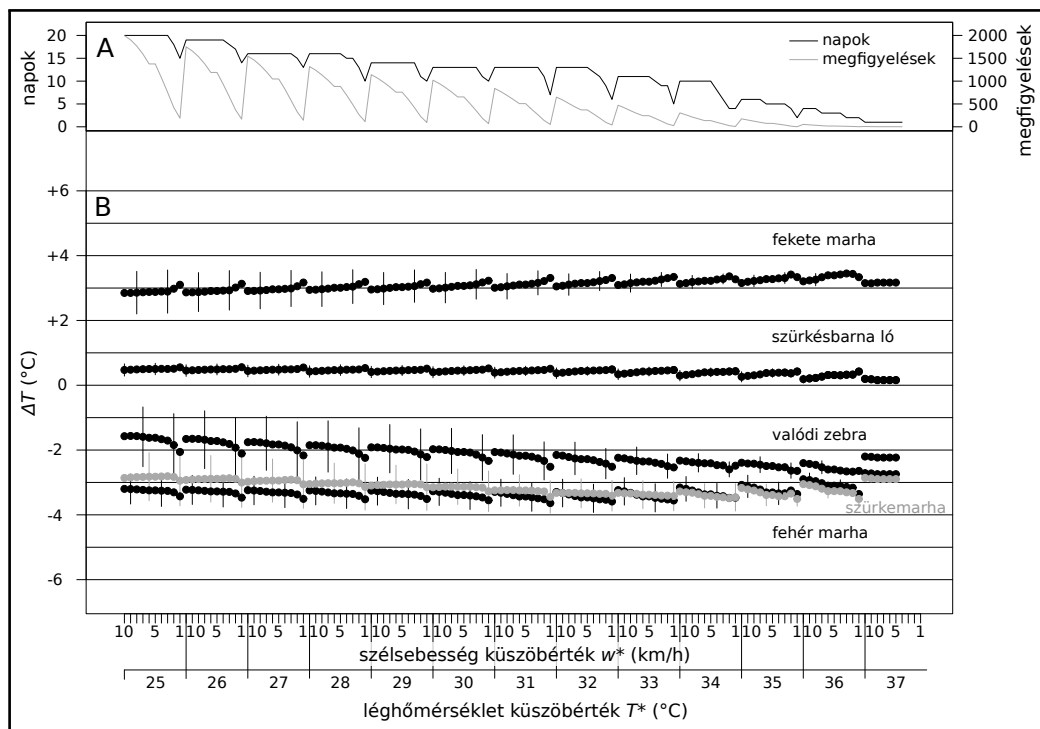
6.16. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 2. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 90$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



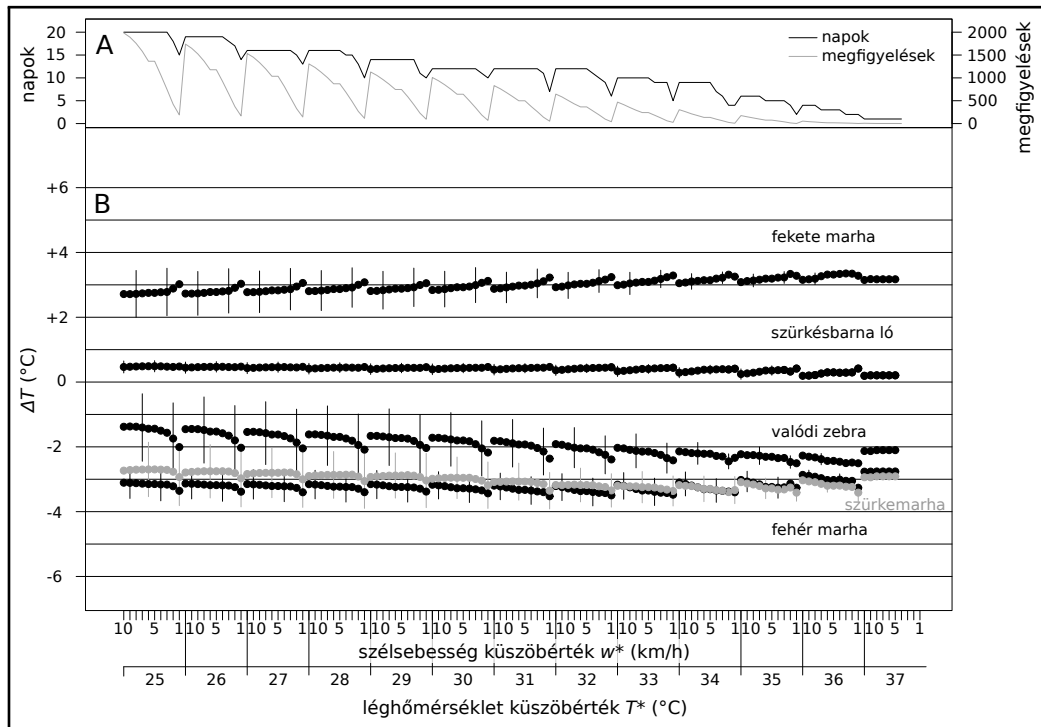
6.17. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 2. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 120$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



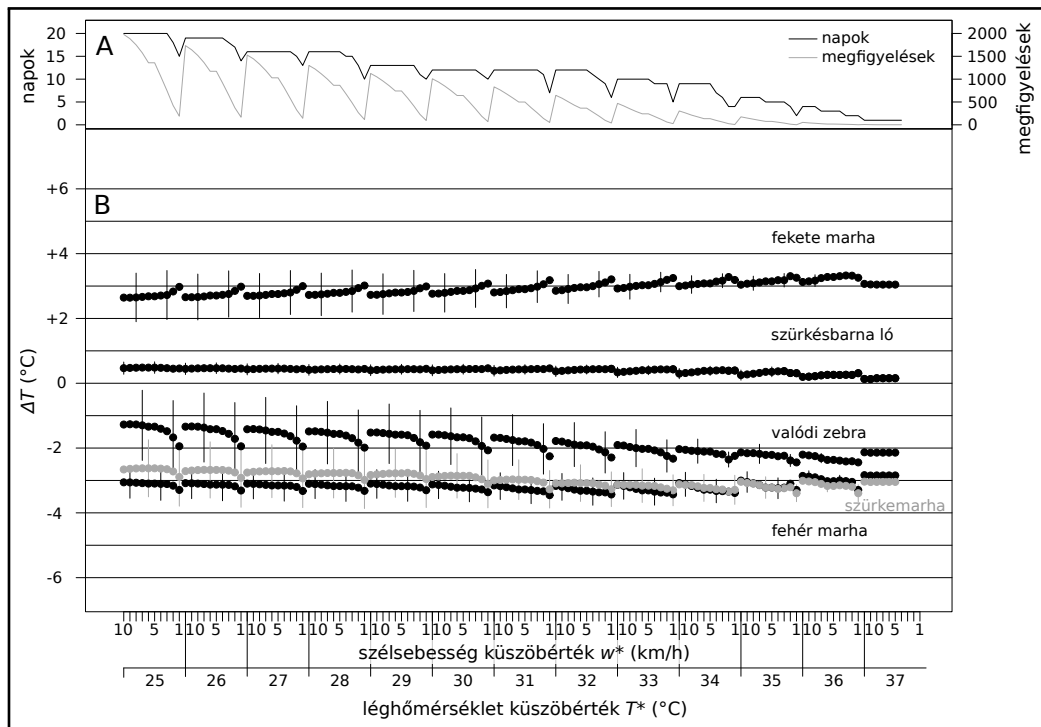
6.18. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 3. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 0$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



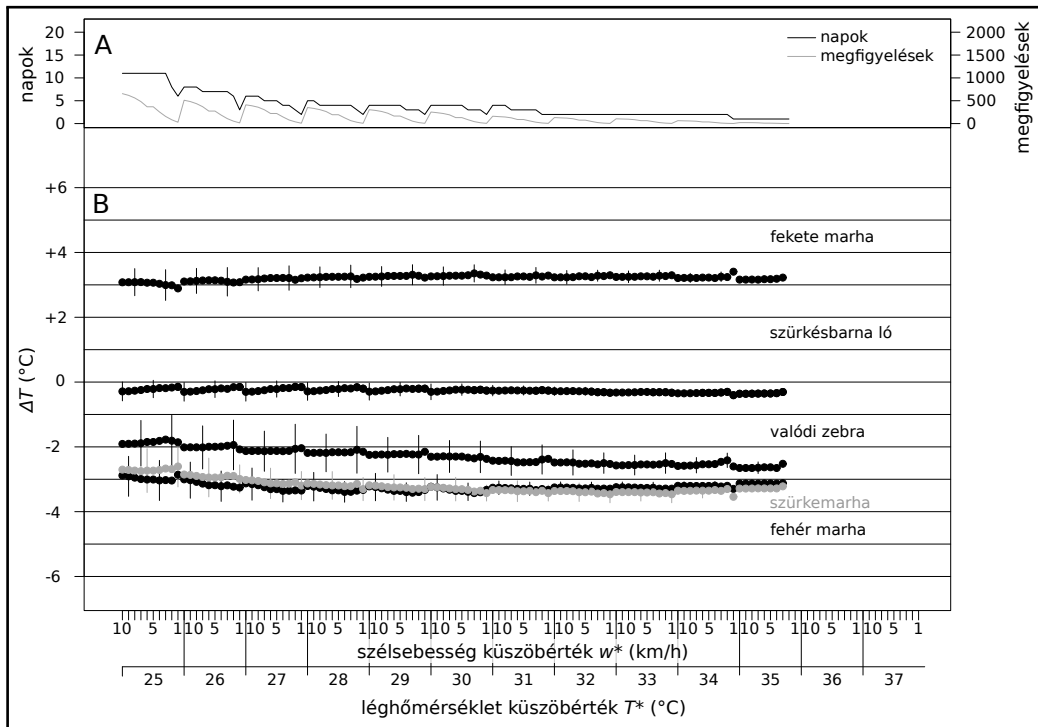
6.19. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 3. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 30$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



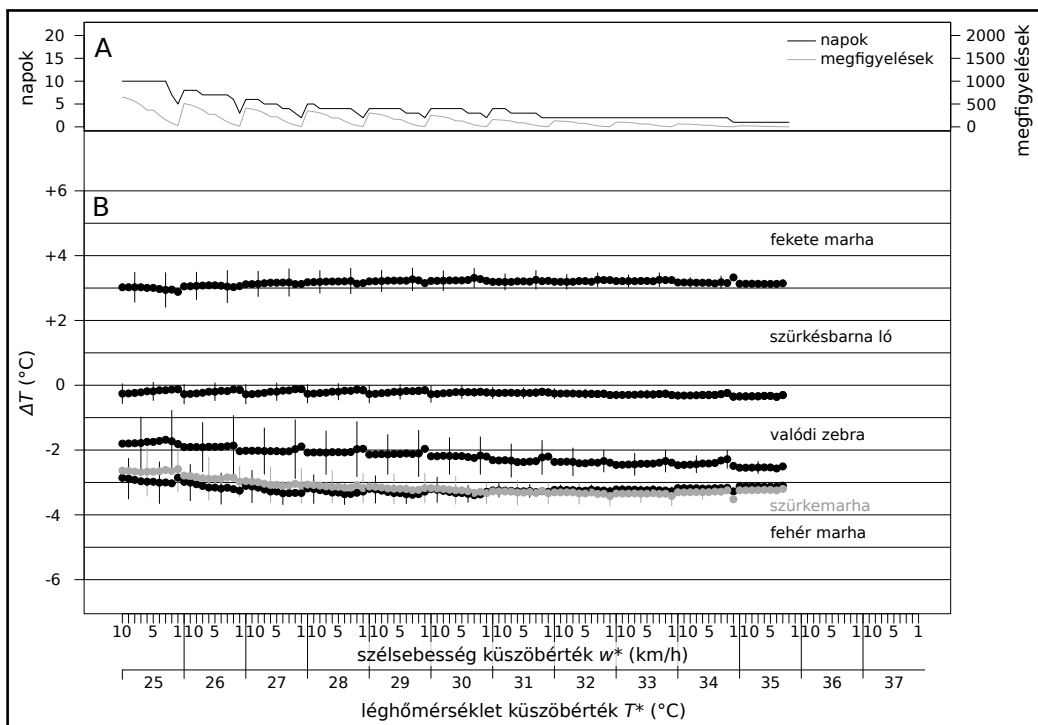
6.20. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 3. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 90$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



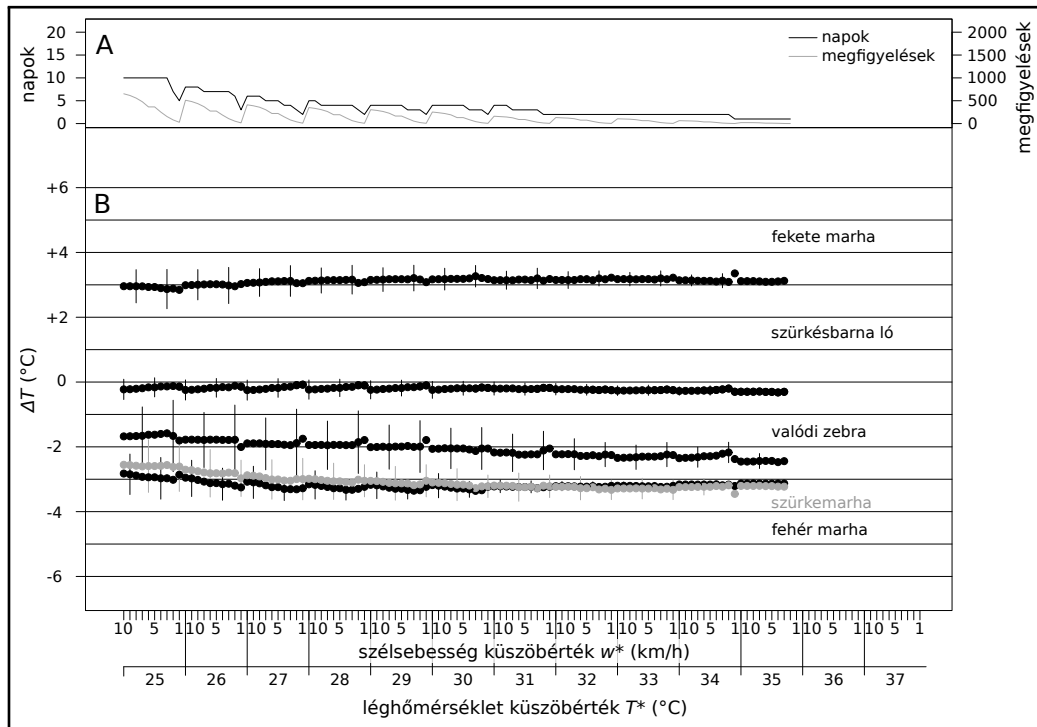
6.21. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 3. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkésltetés $\Delta t = 120$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



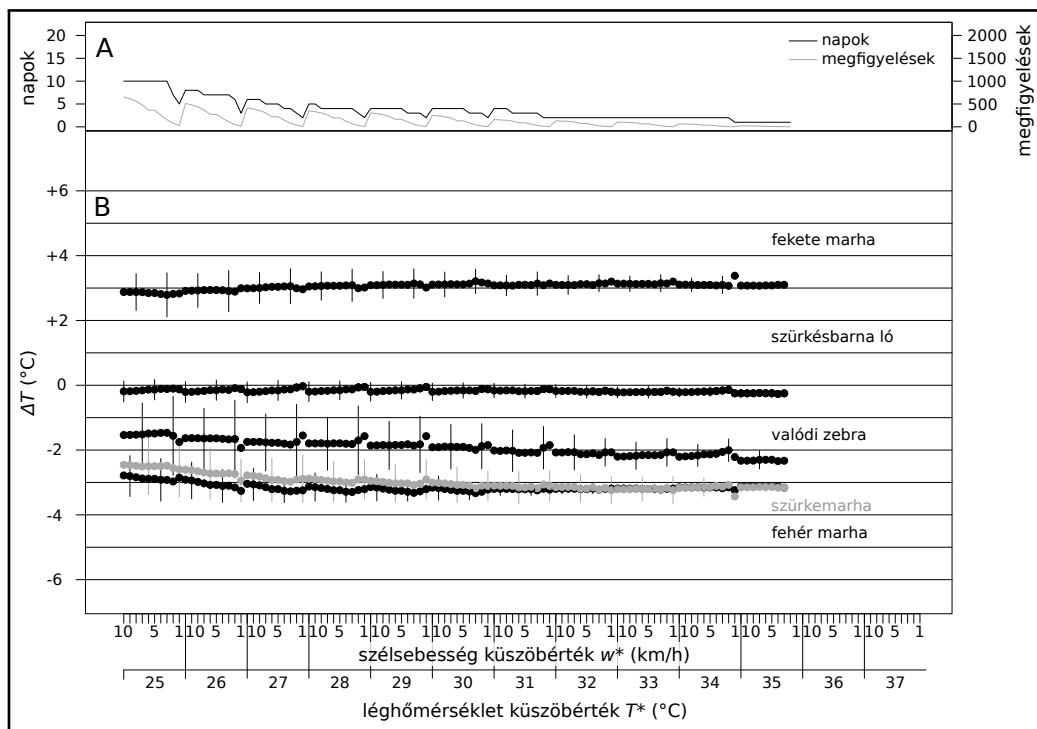
6.22. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 4. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 0$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



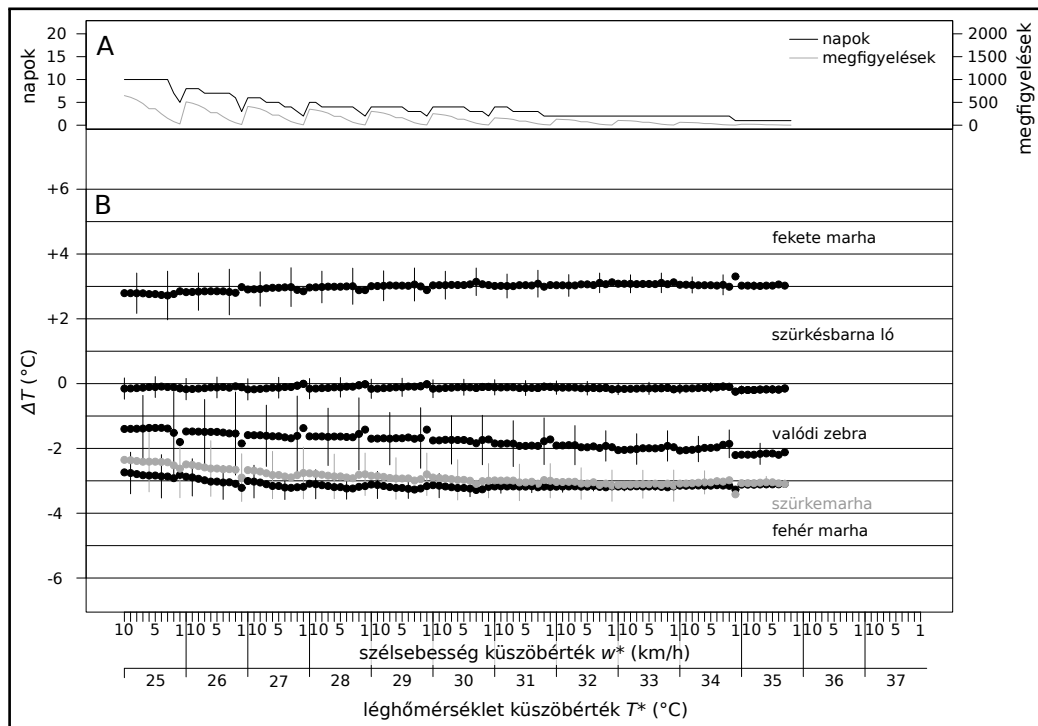
6.23. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 4. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 30$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



6.24. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 4. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkéslletetés $\Delta t = 60$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



6.25. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 4. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkéslletetés $\Delta t = 90$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.



6.26. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlításai a 4. kísérletsorozat során mért adatokra, az időkézleltetés $\Delta t = 120$ perc. Az ábrán a jelölések megegyeznek az 5.7. ábra (67. oldal) jelöléseivel.

6.2. táblázat. A $T_{\text{air}} \geq T^*$ és a $w \leq w^*$ feltételeket teljesítő esetek száma az 1. kísérletsorozatban. Az oszlopok a w^* (km/h), a sorok pedig a T^* (°C) küszöbértékhez tartoznak. A cellákba írt számok az esetek száma, míg a cella színe az esetek számával arányos (minél több megfigyelés, annál sötétebb kék a cella háttérszíne).

$T^* \backslash w^*$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	146	327	564	846	846	1147	1464	1747	1978	2153
26	114	272	475	724	724	999	1289	1551	1771	1939
27	88	215	385	593	593	826	1070	1299	1493	1646
28	71	178	325	499	499	700	914	1107	1280	1416
29	64	147	275	425	425	581	763	932	1077	1195
30	44	109	205	305	305	421	572	711	837	945
31	28	63	123	186	186	265	379	480	576	666
32	14	37	72	111	111	169	246	317	385	439
33	11	27	43	67	67	102	138	174	211	242
34	6	15	24	31	31	43	55	72	90	103
35	0	0	0	0	0	0	1	4	8	12
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3. táblázat. A $T_{\text{air}} \geq T^*$ és a $w \leq w^*$ feltételeket teljesítő esetek száma a 2. kísérletsorozatban. Az oszlopok a w^* (km/h), a sorok pedig a T^* (°C) küszöbértékhez tartoznak. A cellákba írt számok az esetek száma, míg a cella színe az esetek számával arányos (minél több megfigyelés, annál sötétebb kék a cella háttérszíne).

$T^* \backslash w^*$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	172	443	756	1079	1079	1400	1693	1908	2060	2154
26	138	372	641	930	930	1218	1482	1682	1819	1903
27	110	312	548	808	808	1074	1320	1510	1643	1726
28	87	257	457	683	683	924	1145	1315	1434	1510
29	63	193	352	551	551	758	955	1115	1228	1302
30	41	132	257	417	417	592	755	887	979	1041
31	24	82	170	275	275	394	507	587	643	683
32	12	42	93	163	163	251	322	374	403	421
33	5	23	58	102	102	163	210	242	262	273
34	1	8	19	39	39	69	88	101	108	114
35	0	3	6	19	19	40	56	64	68	70
36	0	3	3	7	7	20	30	37	41	42
37	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

6.4. táblázat. A $T_{\text{air}} \geq T^*$ és a $w \leq w^*$ feltételeket teljesítő esetek száma a 3. kísérletsorozatban.

Az oszlopok a w^* (km/h), a sorok pedig a T^* (°C) küszöbértékhez tartoznak. A cellákba írt számok az esetek száma, míg a cella színe az esetek számával arányos (minél több megfigyelés, annál sötétebb kék a cella háttérszíne).

$T^* \backslash w^*$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	211	464	814	1159	1159	1490	1731	1920	2069	2172
26	186	410	710	1007	1007	1291	1501	1673	1812	1914
27	156	348	612	881	881	1127	1309	1460	1591	1684
28	124	286	520	743	743	957	1115	1245	1364	1454
29	100	241	446	646	646	832	971	1089	1196	1281
30	76	203	375	547	547	719	849	963	1065	1148
31	55	150	286	423	423	571	679	781	876	955
32	44	107	211	320	320	432	516	604	693	763
33	27	67	141	220	220	303	372	444	518	582
34	7	29	77	127	127	185	240	290	346	395
35	2	16	46	77	77	111	147	179	209	238
36	1	9	18	31	31	46	63	75	86	102
37	0	2	4	8	8	15	20	23	27	30

6.5. táblázat. A $T_{\text{air}} \geq T^*$ és a $w \leq w^*$ feltételeket teljesítő esetek száma a 4. kísérletsorozatban.

Az oszlopok a w^* (km/h), a sorok pedig a T^* (°C) küszöbértékhez tartoznak. A cellákba írt számok az esetek száma, míg a cella színe az esetek számával arányos (minél több megfigyelés, annál sötétebb kék a cella háttérszíne).

$T^* \backslash w^*$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	29	82	153	248	248	359	468	545	602	639
26	14	51	103	179	179	266	358	423	469	497
27	7	35	74	140	140	215	295	344	374	396
28	6	29	64	126	126	194	264	305	332	351
29	6	21	52	107	107	164	226	263	286	302
30	5	18	43	84	84	128	186	215	232	247
31	5	12	28	56	56	87	123	140	147	156
32	4	10	22	47	47	75	105	119	124	131
33	4	9	21	42	42	61	82	93	97	102
34	2	5	11	24	24	34	47	52	55	59
35	0	1	2	5	5	7	14	15	16	16
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.6. táblázat. A terepkísérletek során használt hordók 2017. július 18-i hőkamerás méréseinek eredményei. Az egyszínű hordóknál az átlagos T felületi hőmérsékletet és annak σ_T szórását, míg a csíkos hordók esetében a csíkok közötti ΔT átlagos hőmérséklet-különbséget és annak $\sigma_{\Delta T}$ szórását számoltuk egy kijelölt egyenes mentén, a hordó felső, napos oldalán (lásd 5.3. ábra a 62. oldalon).

idő (h)	fehér marha		fekete marha		barnásszürke ló		műzebra		valódi zebra	
	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)
8	25,0	0,2	37,8	1,2	32,9	0,6	6,7	3,0	7,0	1,2
9	28,1	0,3	44,2	0,8	37,4	0,7	7,1	3,5	8,2	1,8
10	31,7	0,3	48,7	1,3	40,3	1,0	10,3	1,7	6,5	2,1
11	34,7	0,2	53,6	1,7	47,5	0,6	10,4	1,9	8,9	2,3
12	35,3	0,2	54,3	3,1	48,9	1,1	11,2	3,6	12,3	3,2
13	37,6	0,1	60,6	2,9	54,6	1,1	8,8	2,1	16,4	3,6
14	37,6	0,3	60,0	3,0	56,8	1,7	8,8	2,2	11,3	3,0
15	38,3	0,4	66,3	1,4	56,3	1,3	10,1	3,1	10,7	3,9
16	37,8	0,2	56,6	1,6	53,3	1,2	7,9	3,4	13,7	2,0
17	37,2	0,2	56,1	1,6	49,4	1,0	7,2	0,9	7,9	2,1
18	34,1	0,1	49,7	1,1	42,5	1,1	5,2	0,5	5,3	1,1
19	32,0	0,2	43,2	0,6	39,2	0,5	5,0	1,6	3,9	1,1

6.7. táblázat. A terepkísérletek során használt hordók 2017. július 30-i hőkamerás méréseinek eredményei. Az egyszínű hordóknál az átlagos T felületi hőmérsékletet és annak σ_T szórását, míg a csíkos hordók esetében a csíkok közötti ΔT átlagos hőmérséklet-különbséget és annak $\sigma_{\Delta T}$ szórását számoltuk egy kijelölt egyenes mentén, a hordó felső, napos oldalán (lásd 5.3. ábra a 62. oldalon).

idő (h)	fehér marha		fekete marha		barnásszürke ló		műzebra		valódi zebra	
	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)
9	28,6	0,3	43,7	0,8	36,1	1,0	7,0	1,8	5,4	1,1
10	31,4	0,3	47,0	1,7	41,3	0,7	6,0	2,8	7,4	0,9
11	33,9	0,4	49,6	0,8	43,8	0,7	7,1	2,9	7,2	1,2
12	36,8	0,3	51,3	0,8	45,9	0,8	7,3	2,4	7,9	1,3
13	40,3	0,4	59,6	1,8	52,5	1,1	11,7	3,4	16,2	3,6
14	39,1	0,4	60,2	1,8	54,6	0,8	9,5	3,5	17,1	3,0
15	40,5	0,8	55,5	2,6	54,0	1,3	8,9	1,9	15,1	2,7
16	39,4	0,8	57,8	1,2	52,7	1,2	5,7	2,6	12,3	1,5
17	38,1	0,7	49,5	1,7	47,1	1,1	6,8	3,2	9,6	1,4
18	36,1	0,3	50,4	1,2	47,4	0,7	6,5	2,6	8,3	1,8
19	31,9	0,3	42,1	0,7	38,7	0,5	3,0	1,7	1,0	0,3

6.8. táblázat. A terepkísérletek során használt hordók 2017. augusztus 15-i hőkamerás méréseinek eredményei. Az egyszínű hordóknál az átlagos T felületi hőmérsékletet és annak σ_T szórását, míg a csíkos hordók esetében a csíkok közötti ΔT átlagos hőmérséklet-különbséget és annak $\sigma_{\Delta T}$ szórását számoltuk egy kijelölt egyenes mentén, a hordó felső, napos oldalán (lásd 5.3. ábra a 62. oldalon).

idő (h)	fehér marha		fekete marha		barnásszürke ló		szürkemarha		műzebra		valódi zebra	
	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	T (°C)	σ_T (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$ (°C)
8	25,2	0,2	36,3	1,0	30,6	0,6	26,5	0,5	4,8	2,1	6,4	0,3
9	27,1	0,4	38,8	0,9	33,3	0,5	27,8	0,3	5,7	2,1	6,6	1,3
10	30,2	0,3	44,0	0,8	37,2	0,7	30,1	0,7	6,1	2,2	6,6	0,7
11	32,3	0,2	48,2	0,7	41,0	0,8	33,2	0,4	5,9	2,6	7,2	1,0
12	37,9	0,6	60,1	1,7	51,5	0,8	37,8	0,5	7,4	2,7	14,9	2,7
13	39,4	0,6	62,7	1,9	53,8	0,9	41,1	0,4	8,4	1,5	14,5	4,9
14	41,0	0,8	65,5	1,2	55,6	0,9	42,6	0,3	7,3	2,3	17,9	3,3
15	39,8	0,4	60,1	1,8	53,5	0,5	41,0	0,4	6,8	2,2	15,1	4,0
16	39,0	0,6	58,7	1,2	51,9	0,9	41,6	0,4	4,1	1,8	14,8	3,7
17	36,2	0,4	55,1	0,6	48,4	0,7	39,7	0,3	6,2	2,6	11,1	3,2
18	33,6	0,2	46,9	0,6	42,1	0,6	36,7	0,2	4,4	1,7	5,7	1,8
19	32,1	0,2	43,3	0,6	38,9	0,7	34,7	0,1	3,2	1,3	4,7	1,9

6.9. táblázat. A táblázat az 1–4. kísérletsorozatok legmelegebb napján, minden hordónál azon $\Delta t = \delta$ értékeket mutatja percben, ahol az 5.3. képlet alapján számolt integrál értéke maximális.

A $CC(\delta)$ maximuma a δ időkéésnél azt mutatja, hogy a léghőmérséklet-változás mekkora időkéésével jelentkezik a hordó maghőmérsékletében.

kísérlet	legmelegebb nap	hordók					
		fehér marha	fekete marha	valódi zebra	barnásszürke ló	szürkemarha	műzebra
1.	június 28.	50	15	-	55	-	65
2.	július 20.	35	15	40	20	-	20
3.	augusztus 10.	60	40	70	55	65	55
4.	szeptember 1.	105	80	120	100	120	95

Összefoglalás

Doktori dolgozatom első három fejezetében a poláros fényszennyezés okozta ökológiai csapdákkal kapcsolatos vizsgálataimat ismertettem. Az 1. fejezetben a dán kérész (*Ephemera danica*) összetett ökológiai csapdájának hatásmechanizmusával kapcsolatos kísérleteinket mutattam be. Az eredményekből megállapítható, hogy egy patakot keresztező híd képes eltéríteni a patak fölött kompenzációs repülésüket végző nőstény kérészeket, aminek eredményeként azok az aszfaltút fölött folytatják repülésüket. Bizonyítottuk, hogy a patakot a hídnál hagyták el a kérészek, és mivel az út fölött nem voltak képesek megállapítani a folyásirányt, ezért mindkét irányba folytatták repülésüket. Megmutattuk továbbá, hogy az eltérített kérészek utódgenerációja megmenthető az út szélére helyezett fekete vagy piros, vízzel töltött tálcákkal. Az aszfaltút gyenge poláros jele a vízkövetést kiváltja ugyan, de petézést nem. A vizeztálcák erős poláros jele magához vonzza a petézni vágyó kérészeket, amelyek a tálcák vizébe rakják megtermékenyített petéiket. A rajzást követően a csapdákból felgyülemllett tojásokat a szakemberek visszajuttathatják a patakba. A piros vizeztálcák hasonló hatékonysággal vonzották a kérészeket, és mivel ezeket az úton közlekedő autósok és kerékpárosok könnyebben észreveszik, ezért ezek használatát javasoljuk a természetvédelmi kezelés során.

A dunavirág (*Ephoron virgo*) rajzásakor a kivilágított hidak lámpáinál a nőstény kérészek nagy mennyiségben jelennek meg. Ahogy kifáradnak a híd aszfaltútjára szállnak le, ott petéznek, majd elpusztulnak. Ezzel a hídra petéző kérészek utódgenerációja megsemmisül. Ezen természetvédelmi probléma megoldására hídra szerelhető, folyásirányba néző fénysorompót terveztünk. A 2. fejezetben ismertetett eredményeink egyértelműen bizonyítják az alkalmazott fénysorompó hatékonyságát. Amikor a fénysorompók világitottak, a dunavirág nőstények nem hagyták el a folyót, ehelyett a fénysorompónál torlódtak fel. Amint a feltorlódott kérészraj elért egy kritikus tömeget, a rajban alul repkedő kérészek elérték a vízfelszínt, és elsodorta őket a folyó. A fénysorompónak köszönhetően ezek a nőstények nem távolodtak el a folyótól, így a vízbe hullva oda petéztek. A fénysorompók lekapcsolása után a vizsgált hídlámpáknál megjelentek a dunavirág egyedek. Ezzel bizonyítottuk, hogy a működő fénysorompó akadályozta meg, hogy a kérészek elhagyják a folyót.

Április-májusban a Duna budapesti szakaszán a folyóparti üvegépületeknél nagy mennyiségben rajzik a polarotaktikus dunai tömegtegzés (*Hydropsyche pellucidula*), aminek egyedeit

távrol az épületek sötét körvonala vonz, mint rajzmarker. Az épületek elhagyását pedig az üvegfelületekről visszaverődő vízszintesen poláros fény akadályozza, ami miatt a tegzesek víznek vélik az üvegtáblákat. Az épületeken pihenő, illetve az épületek előtt rajzó tegzesek könnyen kiaknázható táplálékforrást jelentenek több madárfajnak is. Korábbi vizsgálatokban tömegtegessel táplálkozó barázdabillegetőket (*Motacilla alba*), házi verebeket (*Passer domesticus*), széncinegét (*Parus major*) és szarkákat (*Pica pica*) figyeltek meg. A 3. fejezetben ismertetett megfigyeléseim ezen madárfajok listáját bővítették nagy fakopánccsal (*Dendrocopos major*), házi rozsdafarkúval (*Phoenicurus ochruros*) és dolmányos varjúval (*Corvus cornix*). A fejezetben a tömegtegessel táplálkozó madarak viselkedését is részletesen tárgyalom. A megfigyelt madárfajok közül a nagy fakopáncs a leginkább figyelemre méltó, ugyanis erről a fajról korábban még nem jegyezték fel, hogy vízirovarokat fogyasztott volna. Mindhárom újonnan megfigyelt madárfaj fészkelési időszaka egybeesik a dunai tömegtegzes rajzási időszakával, ezért a könnyen zsákmányolható tegzesek fontos táplálékforrást jelentenek az azt kihasználni képes madaraknak.

Doktori értekezésem második felében a zebracsíkos felületek ökológiai és fiziológiai hatásaival foglalkoztam. A nőstény bögölyöknek a szaporodáshoz vérre van szükségük. A legtöbb bögölyfaj természetes gazdaállatai a nagytestű növényevők, de az embert is megtámadják. Korábbi vizsgálatok bizonyították, hogy a csíkos vagy foltos felületek kevésbé vonzóak a bögölyöknek, mint a homogén egyszínűek. Ezek a terepkísérletek azonban csupán a bögölyök négy lábú gazdaállataikhoz való vonzódását vizsgálták. Az emberek függőleges oszlopszerű alakja jelentősen eltér a korábbi kísérletekben szereplő négy lábú gazdaállatok vagy azok életnagyságú modelljeinek alakjától, ezért különböző színű, mintázatú és eltérő pózokban kihelyezett bábuk bögölyvonzó-képességét vizsgáltuk. Az eredményekről a 4. fejezetben számoltam be. Kimutattuk, hogy álló bábukról főként függőlegesen poláros fény verődik vissza, míg a fekvők nagyrészt vízszintesen poláros fényt reflektálnak. A bábuk pózfüggő polarizációs mintázatával magyarázható, hogy az álló bábuk kizárólag gazdakereső nőstény bögölyöket vonzottak, míg a fekvők a vizet kereső nőstény és hím bögölyöket egyaránt csapdázták. Kísérleteinkkel kimutattuk, hogy a fehér csíkosra festett sötétbarna bábú kevesebb bögölyt vonzott, mint a homogén sötétbarna vagy a homogén bézs színű bábuk. Ezzel bizonyítottuk, hogy a bennszülött törzsek tradicionális csíkos testfestése a zebracsíkokhoz hasonlóan véd a bögölytámadások ellen. Nem állítható, hogy a csíkos testfestés a bögölyök elleni védelem miatt alakult ki, viszont a sötét bőrre festett világos csíkok jótékony mellékhatása az egyes paraziták elleni hatékony védelem.

Az egyik népszerű hipotézis szerint a zebrák csíkozottsága azért alakulhatott ki, mert a fekete és fehér csíkok fölött felfelé, illetve lefelé áramló levegő stabil örvénysort alakít ki, ami hűti az állatot. Ezen feltételezést korábban hőkamerás mérésekkel, valamint a zebrák elterjedési adatai és hőmérsékleti adatok közti korreláción alapuló statisztikai elemzésekkel tesztelték. Azonban az így kapott eredmények ellentmondásosak és nem alkalmasak a hipotézis vizsgálatára. A hipotézis teszteléséhez olyan terepkísérletet terveztünk, amely során a különböző színű és

mintázatu állatbőrökkel fedett, vízzel töltött fém hordók maghőmérsékletét mértük. A bőrökkel borított napsütötte hordókról hőképeket készítettünk, valamint spektrometria segítségével a felületek fehérségi indexét is meghatároztuk. A terepkísérletek eredményeit az 5. fejezetben mutattam be. Eredményeinkből megállítható, hogy a vizsgált hordók maghőmérsékletében tapasztalt különbséget a hordókat borító bőrök fehérségi indexe határozta meg: minél sötétebb volt a hordót borító bőr, annál jobban melegedett fel a hordóban lévő víz. A kísérletekben használt csíkos bőrökkel (valódi zebrabőrrel, valamint fekete és fehér marhabőr-csíkokból varrt műzebrabőrrel) borított hordók maghőmérséklete nem tért el a fehérségi index alapján várt értéktől. A hipotézis szerinti hűtő hatás akkor sem volt kimutatható, amikor az adatokat a magas léghőmérsékletű és kis szélességű időszakokra szűkítettük. Terepkísérleteinkkel cáfoltuk a zebracsíkok hűtő hatásával kapcsolatos, széles körben elterjedt feltételezést.

Summary

In the first three chapters of my doctoral thesis I presented our studies about ecological traps induced by polarized light pollution. In Chapter 1, I described our experiments that revealed the function of the complex ecological trap for *Ephemera danica* mayflies. Our results clearly showed that during their compensatory flight female mayflies can be deflected at bridges with an asphalt road and these deceived females continue their flight above the asphalt surface. We proved that the studied female mayflies left the creek at the bridge and since they could not determine the direction of water flow they continued their compensatory flight in both directions along the asphalt road. Furthermore, we showed that the offspring generation of the deceived mayflies can be saved with black or red water-filled trays deployed along the edge of the road. The weakly and horizontally polarized light reflected from the asphalt surface can trigger water-seeking reactions but not oviposition. The strongly and horizontally polarized light from the water-filled trays attracted female *Ephemera danica* mayflies which laid their eggs in the water-filled trays. At the end of mayfly swarming, the eggs collected by the trays can be transported back into the creek. We did not find statistical difference between the mayfly attraction of the black and red-coloured trays. The red trays are more advantageous, because they are much more striking than the black ones. This is an important factor from the aspect of traffic safety.

During the swarming of *Ephoron virgo* mayflies, females appear at bridge lights in a large number. When getting exhausted they land on the asphalt road on the bridge, try to lay their eggs and die. Therefore, the offspring generation of these mayflies inevitably perish. To remedy this conservation issue we designed a simple method using downstream-facing beacon lights. The results presented in Chapter 2 confirm the effectiveness of these beacons. While the beacons were on, female *Ephoron virgo* specimens did not leave the river, but instead they aggregated at the beacons above the river. As the size of the mayfly cloud in front of the beacons exceeded a critical value, mayflies at the bottom of the cloud dropped into the water. Thus, the beacons prevented the mayflies to leave the river and by falling into the water they laid their eggs in the river. After we switched off the beacons, mayflies appeared at the street lamps. This proved that the operating beacons prevented female mayflies to leave the river.

In every April and May swarming *Hydropsyche pellucidula* caddisflies appear around glass buildings at the riverside of the river Danube in Budapest. These polarotactic insects are attracted

first by the silhouette of the buildings from a long distance, while the horizontally polarized light reflected from the glass panels prevent them to leave the building. These caddisflies swarm in front of the buildings and rest on them in a large number, which is an available food source for several bird species. In a previous study white wagtails (*Motacilla alba*), house sparrows (*Passer domesticus*), magpies (*Pica pica*) and great tits (*Parus major*) have been observed to feed on the caddisflies at glass buildings. Our observations presented in Chapter 3 expanded this bird species list with great spotted woodpecker (*Dendrocopos major*), black redstart (*Phoenicurus ochruros*) and hooded crow (*Corvus cornix*). In this chapter I also described the behaviour of the observed bird species while hunting for caddisflies. Among the new bird species the great spotted woodpecker is the most worthy to note since it has never been recorded before to feed on aquatic insects. The breeding period of all three newly observed bird species overlaps with the swarming season of *H. pellucidula*. Thus, the caddisfly mass trapped at glass buildings is an important food source for these birds.

In the second part of my PhD thesis, I presented our field experiments studying some ecological and physiological impacts of zebra-striped surfaces. Female horseflies need mammal blood for the development of their eggs. The hosts of most horsefly species are four-legged herbivores (mostly ungulates), but they also attack humans. Previous surveys proved that striped or spotted surfaces are less attractive to horseflies than homogeneous ones. However, the targets during these experiments were four-legged hosts, or their models. The vertically elongated semi-cylindrical shape of the human body differs considerably from the shape of quadrupedal host animals of horseflies. In our field experiments we examined how the posture, colour, and pattern of human models affect the visual attractiveness to horseflies. In Chapter 4, I dealt with these experiments and their results. We showed that standing human models reflect mostly vertically polarized light, while the reflected light from the lying ones is mainly horizontally polarized. The polarization pattern of the models explained why the standing models attracted only host-seeking female horseflies, while the lying models were visited by water-seeking male and female horseflies. Our experiments revealed that the white and brown striped human model attracted less horseflies than the homogeneous brown or beige models. This proved the hypothesis that the traditional striped bodypainting used by indigenous tribal communities protects against horsefly attack as zebra stripes do. It cannot be stated that the original purpose of striped bodypainting was to deter horseflies, but the beneficial side effect of such striped bodypaintings on brown skin is that it evidently protects against horseflies.

According to a popular hypothesis zebra stripes help to cool the animal by means of convective air eddies induced by temperature gradients over alternating black and white stripes. This hypothesis has been studied previously with thermography and correlations between temperature variability and changes in striping of equid species and subspecies. The results of these studies were contradictory, furthermore could not prove the alleged cooling effect of zebra stripes. We

tested this hypothesis in field experiments in which we measured the core temperatures of water-filled metal barrels covered with differently coloured and patterned hides. In Chapter 5, I described these experiments and their results. Using thermography we measured the surface temperature of the sunlit barrels and calculated their whiteness from spectroscopy measurements. Our results showed that the measured differences in the barrels' core temperatures can be explained by the whiteness of the hides covering the barrels: the lower the average whiteness of the hide the warmer the barrel's core temperature. The core temperature of the barrels covered with striped hides (real zebra hide and artificial zebra hide sewed from stripes of black and white cattle hides) did not differ from the temperature expected on the basis of whiteness. The hypothetical cooling effect of zebra stripes was not detectable in our measurements, even when the data were restricted to periods with higher air temperatures and smaller wind speeds. Our field experiments disproved the thermoregulation hypothesis, zebra stripes do not cool the animal.

Felhasznált irodalom

- [1] HORVÁTH G. *Polarized light and polarization vision in animal sciences*. Berlin, Germany: Springer, 2014. ISBN: 978-3-642-54718-8.
- [2] HALE R., SWEARER S. E. Ecological traps: current evidence and future directions. *Proceedings of the Royal Society B* 283 (2016), p. 20152647. DOI: 10.1098/rspb.2015.2647.
- [3] HORVÁTH G., KRISKA Gy., MALIK P., ROBERTSON B. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (2009), pp. 317–325. DOI: 10.1890/080129.
- [4] KRISKA Gy., HORVÁTH G., ANDRIKOVICS S. Why do mayflies lay their eggs *en masse* on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. *The Journal of Experimental Biology* 201 (1998), pp. 2273–2286.
- [5] BERNÁTH B., KRISKA Gy., SUHAI B., HORVÁTH G. Insectivorous birds as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54 (2008), pp. 145–155.
- [6] MALIK P., HEGEDÜS R., KRISKA Gy., HORVÁTH G. Imaging polarimetry of glass buildings: why do vertical glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics* 47(24) (2008), pp. 4361–4374. DOI: 10.1364/AO.47.004361.
- [7] KRISKA Gy., CSABAI Z., BODA P., MALIK P., HORVÁTH G. Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarisation signals. *Proceedings of the Royal Society B*. 273(1594) (2006), pp. 1667–1671. DOI: 10.1098/rspb.2006.3500.
- [8] HORVÁTH G., BLAHÓ M., EGRI Á., KRISKA Gy., SERES I., ROBERTSON B. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24(6) (2010), pp. 1644–1653. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x.
- [9] KRISKA Gy., BERNÁTH B., FARKAS R., HORVÁTH G. Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55(12) (2009), pp. 1167–1173. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2009.08.013.
- [10] SZÁZ D., HORVÁTH G., BARTA A., ROBERTSON B., FARKAS A., EGRI Á., TARJÁNYI N., RÁCZ G., KRISKA Gy. Lamp-lit bridges as dual light-traps for the night-swarming mayfly, *Ephoron virgo*: Interaction of polarized and unpolarized light pollution. *PLoS One* (2015). DOI: 10.1371/journal.pone.0121194.
- [11] KRISKA Gy., MALIK P., SZIVÁK I., HORVÁTH G. Glass buildings on river banks as "polarized light traps" for mass-swarming polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften* 95 (2008), pp. 461–467.

- [12] ROBERTSON B., KRISKA Gy., HORVÁTH V., HORVÁTH G. Glass buildings as bird feeders: Urban birds exploit insects trapped by polarized light pollution. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 56(3) (2010), pp. 283–293.
- [13] WALLACE A. R. Mimicry and other protective resemblances among animals. *Westminster and Foreign Quarterly Review* 32 (1867), pp. 1–43.
- [14] DARWIN C. R. *The descent of man, and selection in relation to sex*. London, UK, John Murray, 1871.
- [15] WALLACE A. R. The protective colours of animals. *Science* 2 (1879), pp. 128–137.
- [16] CARO T. *Zebra stripes*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2016. ISBN: 978-0226411019.
- [17] MELIN A. D., KLINE D. W., HIRAMATSU C., CARO T. Zebra stripes through the eyes of their predators, zebras, and humans. *PLoS ONE* 11 (2016), e0145679. DOI: 10.1371/journal.pone.0145679.
- [18] GALTON F. *South Africa*. New York, NY: Minerva Library, 1851.
- [19] KIPLING R. *Just so stories*. London, UK: Macmillan, 1908.
- [20] THAYER A. H. *Concealing coloration in the animal kingdom*. New York, NY: Macmillan, 1909.
- [21] COTT H. B. *Adaptive coloration in animals*. Northampton, UK: Oxford University Press, 1940. ISBN: 978-0416300505.
- [22] MARLER P., HAMILTON W. J. *Mechanisms of animal behaviour*. New York, NY: Wiley, 1968. ISBN: 978-0471572299.
- [23] MATTHEWS L. H. *The life of mammals vol. 2*. New York, NY: Universe Books, 1971. ISBN: 9780297170433.
- [24] ELTRINGHAM S. K. *The ecology and conservation of large African mammals*. Basingstoke, UK: Macmillan, 1979. ISBN: 9780333235805.
- [25] CLOUDSLEY-THOMPSON J. L. How the zebra got his stripes: new solutions to an old problem. *Biologist* 31 (1984), pp. 226–228.
- [26] VAUGHAN T. A. *Mammalogy 3rd ed*. Flagstaff, AZ: North Arizona University, 1986.
- [27] MCLEOD D. N. K. Zebra stripes. *New Scientist* 115 (1987), p. 68.
- [28] MORRIS D. *Animal watching: a field guide to animal behaviour*. London, UK: Johnathan Cape, 1990. ISBN: 978-0224027946.
- [29] HOW M. J., ZANKER J. M. Motion camouflage induced by zebra stripes. *Zoology* 117 (2014), pp. 163–170. DOI: 10.1016/j.zool.2013.10.004.
- [30] KINGDON J. The zebra's stripes: an aid to group cohesion. *The encyclopedia of mammals*. Ed. by MACDONALD D. Oxford, UK: Equinox, 1984, pp. 486–487.
- [31] BECKER C. D., GINSBERG J. R. Mother-infant behaviour of wild Grevy's zebra: adaptations for survival in semi-desert East Africa. *Animal Behaviour* 40 (1990), pp. 1111–1118. DOI: 10.1016/S0003-3472(05)80177-0.
- [32] RUXTON G. D. The possible fitness benefits of striped coat coloration for zebra. *Mammal Review* 32 (2002), pp. 237–244. DOI: 10.1046/j.1365-2907.2002.00108.x.
- [33] PROTHERO D. R., SCHOCH R. M. *Horns, tusks, and flippers: the evolution of hoofed mammals*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2003. ISBN: 978-0801871351.

- [34] WAAGE J. K. How the zebra got its stripes – biting flies as selective agents in the evolution of zebra coloration. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* 44 (1981), pp. 351–358.
- [35] EGRI Á., BLAHÓ M., KRISKA Gy., FARKAS R., GYURKOVSKY M., ÅKESSON S., HORVÁTH G. Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: An advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* 215 (2012), pp. 736–745. DOI: 10.1242/jeb.065540.
- [36] BLAHÓ M., EGRI Á., BÁHIDSZKI L., KRISKA Gy., HEGEDÜS R., ÅKESSON S., HORVÁTH G. Spottier targets are less attractive to tabanid flies: on the tabanid-repellency of spotty fur patterns. *PLoS ONE* 7 (2012), e41138. DOI: 10.1371/journal.pone.0041138.
- [37] BLAHÓ M., EGRI Á., SZÁZ D., KRISKA Gy., ÅKESSON S., HORVÁTH G. Stripes disrupt odour attractiveness to biting horseflies: battle between ammonia, CO₂, and colour pattern for dominance in the sensory systems of host-seeking tabanids. *Physiology and behavior* 119 (2013), pp. 168–174. DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.06.013.
- [38] GIBSON G. Do tsetse-flies 'see' zebras? A field study of the visual response of tsetse to striped targets. *Physiological Entomology* 17 (1992), pp. 141–147. DOI: 10.1111/j.1365-3032.1992.tb01191.x.
- [39] CARO T., IZZO A., REINER Jr. R. C., WALKER H., STANKOWICH T. The function of zebra stripes. *Nature Communications* 5 (2014), p. 3535. DOI: 10.1038/ncomms4535.
- [40] CARO T., STANKOWICH T. Concordance on zebra stripes: a comment on Larison et al. *Royal Society Open Science* 2 (2015), p. 150323. DOI: 10.1098/rsos.150323.
- [41] VALE G. A. The response of tsetse flies (Diptera, Glossinidae) to mobile and stationary baits. *Bulletin of entomological research* 64 (1974), pp. 545–588. DOI: 10.1017/S0007485300035860.
- [42] HARRIS R. H. T. P. *Report on the bionomics of the tsetse fly*. Pietermaritzburg, South Africa: Provincial Administration of Natal, 1930.
- [43] ESTES R. D. *The behavior guide to African mammals including hoofed mammals, carnivores, primates*. Los Angeles, CA: University of California Press, 1992. ISBN: 9780520080850.
- [44] LARISON B., HARRIGAN R. J., THOMASSEN H. A., RUBENSTEIN D. I., CHANGOLSTON A. M., LI E., SMITH T. B. How the zebra got its stripes: a problem with too many solutions. *Royal Society Open Science* 2 (2015), p. 140452. DOI: 10.1098/rsos.140452.
- [45] LOUW G. N. *Physiological animal ecology*. Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, 1993. ISBN: 9780582059221.
- [46] CENA K., CLARK J. A. Thermographic measurements of the surface temperatures of animals. *Journal of Mammalogy* 54 (1973), pp. 1003–1007. DOI: 10.2307/1379105.
- [47] BENESCH A. R., HILSBURG S. Infrarot-thermographische Untersuchungen der Oberflächentemperatur bei Zebras. *Zoologische Garten* 73 (2003), pp. 74–82.
- [48] BENESCH A. R., HILSBURG-MERZ S. Oberflächentemperaturen bei Zebrastreifen. *Natur und Museum* 136 (2006), pp. 49–56.
- [49] SCHWIND R. A polarization-sensitive response of the flying water bug *Notonecta glauca* to UV light. *Journal of comparative physiology* 150 (1983), pp. 87–91. DOI: 10.1007/BF00605291.

- [50] SCHWIND R. A variety of insects are attracted to water by reflected polarized light. *Naturwissenschaften* 76 (1989), pp. 377–378.
- [51] SCHWIND R. Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169 (1991), pp. 531–540. DOI: 10.1007/BF00193544.
- [52] HORVÁTH G., ZEIL J. Kuwait oil lakes as insect traps. *Nature* 379 (1996), pp. 303–304. DOI: 10.1038/379303a0.
- [53] HORVÁTH G., BERNÁTH B., MOLNÁR G. Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: Multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. *Naturwissenschaften* 85 (1998), pp. 292–297. DOI: 10.1007/s001140050503.
- [54] UMOW N. Chromatische Depolarisation durch Lichtzerstreuung. *Physikalische Zeitschrift* 6 (1905), pp. 674–676.
- [55] HORVÁTH G., VARJÚ D. *Polarized light in animal vision – polarization patterns in nature*. Berlin, German: Springer, 2004. ISBN: 978-3-662-09387-0.
- [56] HORVÁTH G., VARJÚ D. Polarization pattern of freshwater habitats recorded by video polarimetry in red, green and blue spectral ranges and its relevance for water detection by aquatic insects. *Journal of Experimental Biology* 200 (1997), pp. 1155–1163.
- [57] R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. 2013. URL: <http://www.R-project.org/>.
- [58] ELLIOTT J. M., HUMPECH U. H. Eggs of Ephemeroptera. *Annual Report, Freshwater Biological Association* 45 (1980), pp. 62–69.
- [59] WRIGHT J. F., HILEY P.D., BERRIE A. D. A 9-year study of the life cycle of *Ephemera danica* Müll. (Ephemeridae: Ephemeroptera) in the river Lambourn, England. *Ecological Entomology* 6 (1981), pp. 321–331.
- [60] BRODSKIY A. K. The swarming behavior of mayflies (Ephemeroptera). *Entomological review* 52 (1973), pp. 33–39.
- [61] MÁLNÁS K., POLYÁK L., PRILL É., HEGEDÜS R., KRISKA Gy., DÉVAI G., HORVÁTH G., LENGYEL S. Bridges as optical barriers and population disruptors for the mayfly *Palingenia longicauda*: an overlooked threat to freshwater biodiversity? *Journal of Insect Conservation* 15(6) (2011), pp. 823–832. DOI: 10.1007/s10841-011-9380-0.
- [62] KAZANCI N. The swarm of *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) as nuptial behaviour in Sakarya River (Turkey). *Review of Hydrobiology* 6 (2013), pp. 69–80.
- [63] EGRI Á., PERESZLÉNYI Á., FARKAS A., HORVÁTH G., PENKSZA K., KRISKA Gy. How can asphalt roads extend the range of in situ polarized light pollution? A complex ecological trap of *Ephemera danica* and a possible remedy. *Journal of Insect Behavior* 30(4) (2017), pp. 374–384. DOI: 10.1007/s10905-017-9623-3.
- [64] KADOCSA G. A fehér kérész tömeges rajzása. *Természettudományi Közlöny* 66 (1934), p. 543.
- [65] PONGRÁCZ S. A fehér kérész vagy dunavirág megjelenése. *Természet* 30 (1936), pp. 218–219.
- [66] FREMLING C. R. Biology of a large mayfly, *Hexagenia bilineata* (Say), of the Upper Mississippi River. *Agricultural and Home Economics Experiment Station, Iowa State University of Science and Technology, Research Bulletin* 482 (1940), pp. 842–852.

- [67] KURECK A. Das Massenschwärmen der Eintagsfliegen am Rhein: Zur Rückkehr von *Ephoron virgo* (Olivier 1791). *Natur und Landschaft* 67 (1992), pp. 407–409.
- [68] TOBIAS W. Sommernächtliches 'Schneetreiben' am Main: zum Phänomen des Massenfluges von Eintagsfliegen. *Natur und Museum* 126 (1996), pp. 37–54.
- [69] KAZANCI N., TÜRKMEN G. The swarm of *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) (Ephemeroptera: Polymitaeridae) in Kura River (Turkey). *Review of Hydrobiology* 8 (2015), pp. 63–65.
- [70] NATIONAL GEOGRAPHIC. *See swarms of bugs descend like a summer snowstorm*. 2016. URL: <http://news.nationalgeographic.com/2016/04/160403-mayflies-swarms-insects-bugs-spain>.
- [71] DAILY MAIL. *Chaos on the roads in Pennsylvania as a plague of mayflies suddenly descends – causing three motorcycle crashes and forcing bridge to close*. 2015. URL: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3123661/Swarming-mayflies-prompt-bridge-closure-motorcycle-crashes.html>.
- [72] FARKAS A., SZÁZ D., EGRI Á., BARTA A., MÉSZÁROS Á., HEGEDÜS R., HORVÁTH G., KRISKA Gy. Mayflies are least attracted to vertical polarization: a polarotactic reaction helping to avoid unsuitable habitats. *Physiology and behavior* 163 (2016), pp. 219–227. DOI: 10.1016/j.physbeh.2016.05.009.
- [73] EGRI Á., SZÁZ D., FARKAS A., PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. Method to improve the survival of night-swarmer mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *Royal Society Open Science* 4 (2017), p. 171166. DOI: 10.1098/rsos.171166.
- [74] NOWINSZKY L. Nocturnal illumination and night flying insects. *Applied Ecology and Environmental Research* 2 (2004), pp. 17–52. DOI: 10.15666/aeer/02017052.
- [75] KRISKA Gy., BERNÁTH B., HORVÁTH G. Positive polarotaxis in a mayfly that never leaves the water surface: polarotactic water detection in *Palingenia longicauda* (Ephemeroptera). *Naturwissenschaften* 94 (2007), pp. 148–154. DOI: 10.1007/s00114-006-0180-4.
- [76] POLYÁK L., LENGYEL S., MÁLNÁS K., PRILL É., KRISKA Gy., HORVÁTH G. Emberi létesítmények hatása a tiszavirág-állomány [*Palingenia longicauda* (Olivier, 1791)] nagyságára és ivararányára. *Acta biologica Debrecina. Supplementum oecologica hungarica* 21 (2010), pp. 177–188.
- [77] PAULI B. Emergence and upstream flight of lotic mayflies and caddisflies (Ephemeroptera and Trichoptera) in a lake outlet, central Finland. *Entomologica Fennica* 6 (1995), pp. 91–97.
- [78] MEYER-ROCHOW V. B. Electrophysiological studies on the insect compound eye. *New Zealand Entomologist* 7 (1982), pp. 296–304. DOI: 10.1080/00779962.1982.9722403.
- [79] HORRIDGE G. A., MARCELJA L., JAHNKE R. Light guides in the dorsal eye of the male mayfly. *Proceedings of the Royal Society of London. B.* 216 (1982), pp. 25–51. DOI: 10.1098/rspb.1982.0059.
- [80] ROBERT J. E. Ultraviolet radiation as a risk factor for cataract and macular degeneration. *Eye & contact lens* 37(4) (2011), pp. 246–249. DOI: 10.1097/ICL.0b013e31821cbcc9.
- [81] SAVOLAINEN E. Swarming in Ephemeroptera: the mechanism of swarming and the effects of illumination and weather. *Annales Zoologica Fennici* 15 (1978), pp. 17–52.

- [82] TÖRÖK J. Resource partitioning among three woodpecker species *Dendrocopos spp.* during the breeding season. *Holarctic Ecology* 13 (1990), pp. 57–264.
- [83] KILHAM L. Differences in feeding behavior of male and female Hairy Woodpeckers. *The Wilson Bulletin* 77 (1965), pp. 134–145.
- [84] SELVA N., JEDRZEJEWSKA B., JEDRZEJEWSKI W., WAJRA A. Factors affecting carcass use by a guild of scavengers in European temperate woodland. *Canadian Journal of Zoology* 83 (2005), pp. 1590–1601.
- [85] GORMAN G. *Woodpeckers of Europe: a study of the European Picidae*. Chalfont, St. Peter: Bruce Coleman Ltd., 2004. ISBN: 1-872842-05-4.
- [86] PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. Atypical feeding of woodpeckers, crows and redstarts on mass-swarmed *Hydropsyche pellucidula* caddisflies attracted to glass panes. *Urban Ecosystems* 20(6) (2017), pp. 1203–1207. DOI: 10.1007/s11252-017-0672-3.
- [87] PERESZLÉNYI Á., HORVÁTH G., KRISKA Gy. ÉT-Etológia: A poláros fényszennyezés hasznélvezői. *Élet és Tudomány* 72(12) (2017), p. 604.
- [88] JONES R. Fire-stick farming. *Australian Natural History* 16 (1969), pp. 224–228.
- [89] MORPHY H. *Animals into art*. London, UK: Unwin Hyman, 1989. ISBN: 978-0044450306.
- [90] LAYTON R. *The anthropology of art*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991. ISBN: 978-0521368940.
- [91] GRÖNING K. *Body decoration: a world survey of body art*. New York, NY: Vendome Press, 1998. ISBN: 978-0865659971.
- [92] SMITH C. Panache and protocol in Australian aboriginal art. *Archaeologies of Art. Time, place and identity*. Ed. by DOMINGO I. California, CA: Left Coast Press, 2008, pp. 215–241. ISBN: 978-1598742657.
- [93] VISONA M. B., POYNOR R., COLE H. M., BILER P. *History of art in Africa*. New York, NY: Pearson, 2008. ISBN: 978-0136128724.
- [94] SILVESTER H. *Natural fashion: tribal decoration from Africa*. London, UK: Thames and Hudson, 2009. ISBN: 978-0500288054.
- [95] JONES R. Landscapes of the mind: Aboriginal perceptions of the natural world. *The humanities and the Australian environment*. Ed. by MULVANEY D. J. Canberra, Australia: Australian Academy of the Humanities, 1991, pp. 21–48. ISBN: 0909897220.
- [96] FARIS J. *Nuba Personal Art*. London, UK: Duckworth, 1972. ISBN: 978-0715605943.
- [97] MORPHY H. *Ancestral connections: Art and an aboriginal system of knowledge*. Chicago, I: University of Chicago Press, 1992. ISBN: 978-0226538662.
- [98] MACKERRAS I. M. Classification and distribution of Tabanidae (Diptera). *Australian Journal of Zoology* 2 (1954), pp. 431–454. DOI: 10.1071/ZO9540431.
- [99] H. Oldroyd. *The horse-flies (diptera: tabanidae) of the Ethiopian region: II: tabanus and related genera*. London, UK: The Trustees of the British Museum (Natural History), 1954.
- [100] DIA M.L., ELSÉN P., CUISANCE D., DIOP C., THIAM A., CHOLLET J. Y. Abundance and seasonal variations of tabanids in Southern Trarza (Mauritania). *Annals of the New York Academy of Sciences* 849 (2006), pp. 456–460. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1998.tb11096.x.

- [101] SINSHAW A., ABEB G., DESQUESNES M., YONI W. Biting flies and *Trypanosoma vivax* infection in three highland districts bordering lake Tana, Ethiopia. *Veterinary Parasitology* 142(1-2) (2006), pp. 35–46. DOI: 10.1016/j.vetpar.2006.06.032.
- [102] MOHAMED-AHMED M. M., MIHOK S. Alighting of Tabanidae and muscids on natural and simulated hosts in the Sudan. *Bulletin of entomological research* 99 (2009), pp. 561–571. DOI: 10.1017/S0007485309006580.
- [103] LESSARD D. B., YEATES D. K. *Anzomyia* (Diptera: Tabanidae: Pangoniinae: Scionini): a new genus of Australian and New Zealand horse fly, including the description of three new species. *Insect systematics & evolution* 43 (2012), pp. 101–116. DOI: 10.1163/187631212X637526.
- [104] LESSARD B. D., CAMERON S. L., BAYLESS K. M., WIEGMANN B. M., YEATES D. K. The evolution and biogeography of the austral horse fly tribe *Scionini* (Diptera: Tabanidae: Pangoniinae) inferred from multiple mitochondrial and nuclear genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 68 (2013), pp. 516–540. DOI: 10.1016/j.ympev.2013.04.030.
- [105] JEZEK J., OBONA J., WAMITI W., NJOROGI N. Upswing of collections of horse flies (Diptera, Tabanidae) held at the National Museums of Kenya, Nairobi. *Acta Musei Silesiae, Scientiae Naturales* 66 (2017), pp. 53–63. DOI: 10.1515/cszma-2017-0006.
- [106] HORVÁTH G., BLAHÓ M., KRISKA Gy., HEGEDÜS R., GERICS B., FARKAS R., ÅKESSON S. 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 (2010), pp. 1643–1650. DOI: 10.1098/rspb.2009.2202.
- [107] HORVÁTH G., MAJER J., HORVÁTH L., SZIVÁK I., KRISKA Gy. Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95 (2008), pp. 1093–1100. DOI: 10.1007/s00114-008-0425-5.
- [108] EGRI Á., BLAHÓ M., SÁNDOR A., KRISKA Gy., GYURKOVSKY M., FARKAS R., HORVÁTH G. New kind of polarotaxis governed by degree of polarization: attraction of tabanid flies to differently polarizing host animals and water surfaces. *Naturwissenschaften* 99 (2012), pp. 407–416. DOI: 10.1007/s00114-012-0916-2.
- [109] HORVÁTH G., SZÖRÉNYI T., PERESZLÉNYI Á., GERICS B., HEGEDÜS R., BARTA A., ÅKESSON S. Why do horseflies need polarization vision for host detection? Polarization helps tabanid flies to select sunlit dark host animals from the dark patches of the visual environment. *Royal Society Open Science* 4 (2017), p. 170735. DOI: 10.1098/rsos.170735.
- [110] HERCZEG T., BLAHÓ M., SZÁZ D., KRISKA Gy., GYURKOVSKY M., FARKAS R., HORVÁTH G. Seasonality and daily activity of male and female tabanid flies monitored in a Hungarian hill-country pasture by new polarization traps and traditional canopy traps. *Parasitology Research* 113 (2014), pp. 4251–4260. DOI: 10.1007/s00436-014-4103-6.
- [111] HERCZEG T., SZÁZ D., BLAHÓ M., BARTA A., GYURKOVSKY M., FARKAS R., HORVÁTH G. The effect of weather variables on the flight activity of horseflies (Diptera: Tabanidae) in the continental climate of Hungary. *Parasitology Research* 114 (2015), pp. 1087–1097. DOI: 10.1007/s00436-014-4280-3.

- [112] D'ERRICO F. Le Rouge et le Noir. Implications of early pigment use in Africa, the Near East, and Europe for the origin of cultural modernity. In Current themes in middle stone Age research. *South African archaeology bulletin* 10 (2008), pp. 157–174. DOI: 10.2307/40650028.
- [113] D'ERRICO F., VANHAEREN M., BARTON N., BOUZOUGGAR A., MIENIS H., RICHTER D., HUBLIN J., MCPHERRON S. P., LOZOUET P. Additional evidence on the use of personal ornaments in the Middle Paleolithic of North Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(38) (2009), pp. 16051–16056. DOI: 10.1073/pnas.0903532106.
- [114] HENSHILWOOD C. S., D'ERRICO F., VAN NIEKERK K., COQUINOT Y., JACOBS Z., LAURITZEN S. E., MENU M., GARCIA-MORENO R. A 100,000-year-old ochre-processing workshop at Blombos cave, South Africa. *Science* 334 (2011), pp. 219–222. DOI: 10.1126/science.1211535.
- [115] ROEROEKS W., SIER M. J., NIELSEN T. K., DE LOECKER D., PARIS J. M., ARPS C. E. S., MECHER H. J. Use of red ochre by early Neandertals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(6) (2012), pp. 1889–1894. DOI: 10.1073/pnas.1112261109.
- [116] D'ERRICO F., RIFKIN R. *The color of the Ovahimba*. Bordeaux, France: CanalU, centre de ressources et d'information sur les multimédias pour l'enseignement supérieur CERIMES., 2014.
- [117] RIFKIN R. F., DAYET L., QUEFFELEC A., SUMMERS B., LATEGAN M., D'ERRICO F. Evaluating the photoprotective effects of ochre on human skin by in vivo SPF assessment: implications for human evolution, adaptation and dispersal. *PLoS ONE* 10 (2015), e0136090. DOI: 10.1371/journal.pone.0136090.
- [118] MEDINA-ALCAIDE M. A., MAIDAGAN D. G., TORTI J. L. S. Painted in red: In search of alternative explanations for European Palaeolithic cave art. *Quaternary International* 491 (2017), pp. 65–77. DOI: 10.1016/j.quaint.2016.08.043.
- [119] LEPRINCE D. J., HRIBAR L. J., FOIL L. D. Responses of horse flies (Diptera: Tabanidae) to Jersey bullocks and canopy traps baited with ammonia, octenol, and carbon dioxide. *Journal of Medical Entomology* 31 (1994), pp. 729–731. DOI: 10.1093/jmedent/31.5.729.
- [120] KRCMAR S., HRIBAR L. J., KOPI M. Response of Tabanidae (Diptera) to natural and synthetic olfactory attractants. *Journal of Vector Ecology* 30 (2005), pp. 133–136.
- [121] MIHOK S., MULYE H. Responses of tabanids to Nzi traps baited with octenol, cow urine and phenols in Canada. *Medical and Veterinary Entomology* 24 (2010), pp. 266–272. DOI: 10.1111/j.1365-2915.2010.00889.x.
- [122] ALLAN S. A., STOFFOLANO J. G. The effects of hue and intensity on visual attraction of adult *Tabanus nigrovittatus* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 23 (1986), pp. 83–91. DOI: 10.1093/jmedent/23.1.83.
- [123] MOORE T. R., SLOSSER J. E., COCKE J., NEWTON W. H. Effect of trap design and color in evaluating activity of *Tabanus abactor* Philip in Texas rolling plains habitat. *Southwestern Entomologist* 21 (1996), pp. 1–11.
- [124] LEHANE M. J. *The biology of blood-sucking in insects, 2nd ed.* Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005. ISBN: 978-0521543958.

- [125] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., TÓTH T., POLGÁR Sz., JÁNOSI I. M. Attractiveness of thermally different uniformly black targets to horseflies: *Tabanus tergustinus* prefers sunlit warm shiny dark targets. *Royal Society Open Science* 6 (2019), p. 191119. DOI: 10.1098/rsos.191119.
- [126] WIESENHÜTTER E. Research into the relative importance of Tabanidae (Diptera) in mechanical disease transmission. *Tropical Animal Health and Production* 7 (1975), pp. 15–22. DOI: 10.1007/BF02383237.
- [127] KRINSKY W. L. Animal disease agents transmitted by horse flies and deer flies (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 13 (1976), pp. 225–275. DOI: 10.1093/jmedent/13.3.225.
- [128] FOIL L. D. Tabanids as vectors of disease agents. *Parasitology Today* 5 (1989), pp. 88–96. DOI: 10.1016/0169-4758(89)90009-4.
- [129] LUGER S. W. Lyme disease transmitted by a biting fly. *The New England journal of medicine* 322 (1990), pp. 1752–1759. DOI: 10.1056/NEJM199006143222415.
- [130] BERTRAM D. S., MCGREGOR I. A., MCFADZEAN J. A. Some diptera, other than mosquitoes, from the colony and protectorate of the Gambia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 52 (1958), pp. 217–222. DOI: 10.1016/0035-9203(58)90079-8.
- [131] USHER P. J. A review of the South African horsefly fauna (Diptera: Tabanidae). *Annals of the Natal Museum* 21 (1972), pp. 459–507.
- [132] NEVILL E. M., STUCKENBERG B. R., PHELPS R. J. Vectors: Tabanidae. *Infectious diseases of livestock: with special reference to Southern Africa*. Ed. by THOMSON G. R., TUSTIN R. C. Oxford, UK: Oxford University Press, 1994, pp. 62–67. ISBN: 978-0195705065.
- [133] DESQUESNESAB M., DIA M. L. Mechanical transmission of *Trypanosoma congolense* in cattle by the African tabanid *Atylotus agrestis*. *Experimental Parasitology* 105 (2005), pp. 226–231. DOI: 10.1016/j.exppara.2003.12.014.
- [134] AHMED A. B., OKIWELU S. N., SAMDI S. M. Species diversity, abundance and seasonal occurrence of some biting flies in Southern Kaduna, Nigeria. *African Journal of Biomedical Research* 8 (2005), pp. 113–118. DOI: 10.4314/ajbr.v8i2.35770.
- [135] ITINA V. I., NOUTCHA A. M. E., OKIWELU S. N. Spatial and temporal distribution of tabanids (Diptera: Tabanidae) in Akwa Ibom State, Nigeria. *Research in Zoology* 3 (2013), pp. 62–65. DOI: 10.5923/j.zoology.20130302.03.
- [136] VOTÝPKA J., RÁDROVÁ J., SKALICKÝ T., JIRKŮ M., JIRSOVÁ D., MIHALCA A. D., D'AMICO G., PETRŽELKOVÁ K. J., MODRÝ D., LUKEŠ J. A tsetse and tabanid fly survey of African great apes habitats reveals the presence of a novel trypanosome lineage but the absence of *Trypanosoma brucei*. *International Journal of Parasitology* 45 (2015), pp. 741–748. DOI: 10.1016/j.ijpara.2015.06.005.
- [137] TAI OE M. O., MOTLOANG M. Y., NAMANGALA B., CHOTA A., MOLEFE N. I., MUSINGUZI S. P., SUGANUMA K., HAYES P., TSILO T. J., CHAINEY J., INOUE N., THEKISOE O. M. M. Characterization of tabanid flies (Diptera: Tabanidae) in South Africa and Zambia and detection of protozoan parasites they are harbouring. *Parasitology* 144 (2017), pp. 1162–1178. DOI: 10.1017/S0031182017000440.
- [138] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., ÅKESSON S., KRISKA Gy. Striped bodypainting protects against horseflies. *Royal Society Open Science* 6 (2019), p. 181325. DOI: 10.1098/rsos.181325.

- [139] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., ÅKESSON S., KRISKA Gy. Csíkos védelem a vérszívók ellen: bennszülöttek testfestésének áldásos parazitaellenes hatása. *Természet Világa* 150(9) (2019), pp. 390–396.
- [140] SVENSSON G., LINDVALL J. Evaluation of near-surface variables and the vertical structure of the boundary layer in CMIP5 models. *Journal of Climate* 28 (2015), pp. 5233–5253. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00596.1.
- [141] CENA K. Investigations of absorption of solar radiation by cattle and horses with various coat colours. *Acta Agraria et Silvestria* 6 (1966), pp. 93–138.
- [142] CENA K., MONTEITH J. L. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. *Proceedings of the Royal Society of London. B.* 188 (1975), pp. 377–393. DOI: 10.1098/rspb.1975.0026.
- [143] CENA K., MONTEITH J. L. Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. *Proceedings of the Royal Society of London. B.* 188 (1975), pp. 395–411. DOI: 10.1098/rspb.1975.0027.
- [144] CENA K., MONTEITH J. L. Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. *Proceedings of the Royal Society of London. B.* 188 (1975), pp. 413–423. DOI: 10.1098/rspb.1975.0028.
- [145] COWLES R. B. Possible origin of dermal temperature regulation. *Evolution* 12 (1958), pp. 347–357. DOI: 10.2307/2405856.
- [146] COWLES R. B., HAMILTON W. J., HEPPNER F. Black pigmentation: adaptation for concealment or heat conservation? *Science* 158 (1967), pp. 1340–1341. DOI: 10.1126/science.158.3806.1340.
- [147] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÅKESSON S. Experimental evidence that stripes do not cool zebras. *Scientific Reports* 8 (2018), p. 9351. DOI: 10.1038/s41598-018-27637-1.
- [148] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÅKESSON S. Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata (1. rész). *Fizikai Szemle* 69(4) (2019), pp. 117–121.
- [149] HORVÁTH G., PERESZLÉNYI Á., SZÁZ D., BARTA A., JÁNOSI I. M., GERICS B., ÅKESSON S. Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata (2. rész). *Fizikai Szemle* 69(5) (2019), pp. 147–154.

ADATLAP

a doktori értekezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értekezés adatai

A szerző neve: Pereszlényi Ádám

MTMT-azonosító: 10064047

A doktori értekezés címe és alcíme: Összetett vizuális ökológiai csapdák és a zebracsíkos bőrfelületek ökológiai és fiziológiás tulajdonságainak vizsgálata

DOI-azonosító⁴⁶: 10.15476/ELTE.2020.080

A doktori iskola neve: Környezettudományi Doktori Iskola

A doktori iskolán belüli doktori program neve: Környezetbiológia Program

A témavezetők neve és tudományos fokozata: Dr. habil. Kriska György (PhD), Dr. habil. Horváth Gábor (DSc)

A témavezetők munkahelye: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értekezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a Természettudományi kar Dékáni Hivatal Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értekezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshez szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelemben részletezett szabadalmi, illetőleg oltalmi bejelentés közzétételéig a doktori értekezést ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értekezést a minősítés (dátum)-ig tartó időtartama alatt ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori értekezést a könyv megjelenéséig ne bocsássák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori értekezésem és a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értekezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értekezés és a tézisek saját eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértem vele senki szerzői jogait;

b) a doktori értekezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenben megegyeznek.

3. A doktori értekezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értekezés és a tézisek szövegének plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt: Budapest, 2020. 06. 15.

.....

Pereszlényi Ádám

.....
a doktori értekezés szerzőjének aláírása

*ELTE SZMSZ SZMR 12. sz. melléklet