

beforduló folt okozta vonalprofil-torzulás a kék oldalon jelenik meg, és onnan a vörös oldal felé mozog. Az idősor analíziséből megállapíthatjuk a rotációs periódust, és akár a felszíni foltok szélességi és hosszúsági koordinátáit is rekonstruálhatjuk. A csillagok nem merev testként forognak, az egyenlítő és a pólusok forgási periódusa gyakran eltér. Kellően kiterjedt spektrumidősorból ez a differenciális rotáció is megállapítható.

### Csillagpulzáció

Sok csillag nem állandó és statikus, hanem periodikusan oszcillál, pulzál. Ez a felszínen szabályos alakzatokban megjelenő mozgások és hőmérséklet-változások formájában jelentkezik. E változások a spektrumvonalban, a forgáshoz és a foltokhoz hasonlóan Doppler-eltolódásként, illetve a rotációs vonalprofil torzulásaiként jelennek meg. A pulzáció vizsgálatához feltétlenül időszormérésekre van szükség. Sok pulzáló változócsillag egynél több, némelyik akár több száz frekvenciával is oszcillálhat egyszerre. Az egyes frekvenciáknak megfelelő vonalprofil-változások jellemzőek a csillagnak arra a rezgési módusára, amelyhez az adott frekvencia tartozik. Ez lehetőséget ad spektroszkópiai módusazonosításra, ami nagyon fontos a csillagpulzáció vizsgálatához (6. ábra).

A pulzáló csillagok tanulmányozásakor a spektroszkópiai megfigyelések általában kiegészítő jellegűek a fotometria mellett. A pulzációs frekvenciák ugyanis a szélesebb fotometriai hullámsávokban megfigyelt fényességváltozásokból is megállapíthatók, amihez egyszerűbb műszer és kisebb távcső is elegendő,

hiszen a kellően hosszú idősorokhoz sok távcső-ideő szükséges. Azonban a magasabb rendű pulzációs módusokat ( $I > \sim 4$ ), amelyeknél a csillagfelszín sok kis szegmense ellentétes fázisban változik, a felület-elemek egymást kioltó ellentétes fényességváltozásai miatt fotometriai módszerrel szinte lehetetlen megfigyelni. A spektroszkópiai módszer ilyen módusok megfigyelését is lehetővé teszi.

### Csillagászati spektroszkópia Magyarországon

A magyar csillagászok spektroszkópiai műszerellátottsága egészen a közelmúltig meglehetősen rossz volt, az utóbbi években azonban jelentős javulás indult e téren. Az első hazai échelle-spektrográf, az ELTE szombathelyi Gothard Asztrofizikai Observatóriumának eShel nevű műszere néhány éve állt működésbe. Ez a spektrográf a 420–870 nm közötti tartományt vizsgálja,  $R = 11\,000$  felbontással. A távcsőhöz üveg-szállal kapcsolódó, aktatáska méretű spektrográf hordozható, így a szombathelyi távcsövek mellett az ország legnagyobb, piszkés-tetői 1 m-es optikai távcsövével is könnyen használható.

E cikk írása idején pedig éppen megkezdte működését az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete 1 m-es távcsövének saját, állandó échelle-spektrográfja is. Ez a műszer a 380–900 nm tartományban  $R = 22\,000$  felbontást tud elérni.

Ez a két új magyar échelle-spektrográf várhatóan nagy lökést fog adni a hazai spektroszkópiai vonatkozású asztrofizikai kutatásoknak.

## MATT FEKETE AUTÓK POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉSE: A MATT BEVONAT SEM KÖRNYEZETBARÁT – 1. RÉSZ

Blahó Miklós, Herczeg Tamás, Száz Dénes, Czinke László, Horváth Gábor  
ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Barta András

Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest

Egri Ádám, Farkas Alexandra, Tarjányi Nikolett

MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-kutató Intézet

Kriska György

ELTE Biológiai Szakmódszertani Csoport

MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-kutató Intézet

A sima felszínű, fényes fekete autók egyes karosszériarészei (például motorháztető, tető, csomagtartófedél, szélvédő) vízszintesen poláros fényt vernek vissza [1]. Mivel a polarotaktikus vízirovarok a vízekről tükröződő fény vízszintes polarizációja alapján ismerik fel a vízfelületeket és vonzódnak az ilyen fényhez [2], ezért a fényes fekete autókról visszaverődő vízszintesen poláros optikai inger megtévesztheti őket és pozitív polarotaxist válthat ki belőlük. A fényes

fekeete járművek ezáltal tipikus poláros fényszennyező források [3]. Ennek egy látványos következménye, mikor például tömegesen rajzó kérészek az 1. ábrán is látható módon teljesen ellepnek egy fényes fekete autót, amire lepetéznek, majd a lerakott petecsomók kiszáradás miatt elpusztulnak. E veszélynek nemcsak az 1.c ábrán látható dunavirág (*Ephoron virgo*) van kitéve, hanem sok más, olykor fokozottan védett vízirovarfaj is.



1. *ábra.* A fényes fekete autó karosszériájáról visszaverődő erősen és vízszintesen poláros fény tömegesen vonzza a különböző kérészfajokat. a) Az *Ephemera hendrickson* tömegrajzása egy fényes fekete autó körül Rebecca Allen felvételén (Michigan State University, USA). b) Az *Ephemera danica* peterakása egy fényes fekete autó karosszériájára és c) a tömegesen rajzó dunavirág (*Ephoron virgo*) több ezer nőstény egyedének szélvédőn történő landolása és petecsomóinak lerakása Kriszka György felvételein.

Napjainkban egyre terjed azon új és drága divathóbort, hogy főleg a luxusautók karosszériáját vagy annak egy részét matt feketére/szürkére festik (2.a–b *ábra*), vagy matt karbonfóliával borítják (2.c *ábra*). Az ilyen érdes felületű autók kinézete a megszokott csillogótól eltérő, matt lesz. Mivel a matt (érdes) felületek többé-kevésbé depolarizálják a róluk diffúzan visszavert fényt, ezért a polarotaktikus rovarok számára várhatóan nem vagy kevésbé vonzóak, mint a fényes megfelelőik. Általánosságban véve tehát a poláros fényszennyezés csökkentésének egyik hatásos módja lehetne az érintett fényes felületek mattá tétele [2, 3]. Hipotézisünk szerint az új divathóbort kapcsán terjedő matt fekete/szürke autók kevésbé idéznek elő poláros fényszennyezést, ami környezetvédelmi szempontból előnyös tulajdonság lehet.

E feltételezésünk ellenőrzésére terepkísérleteket végeztünk fényes fekete, matt fekete és szürke autók karosszériákból kivágott és a földre vízszintesen elhelyezett tesztfelületekkel. Azt vizsgáltuk, hogy e felületek miként vonzanak bizonyos polarotaktikus rovarokat (kérészeket, szúnyoglábu legyeket és bögölyöket). E pozitív polarotaxissal bíró rovarokat az erősen és vízszintesen polarizált visszavert fény indikátoraiként használtuk [4–6]. A vizsgált kérészek és szúnyoglábu legyek tömegesen előfordultak a kísérletünk helyszínén, a bögölyök pedig mezőgazdasági kártevőként szintén gyakoriak. Eredményeink [7] fölfedték a matt fekete autók poláros fényszennyezésének mértékét, és kiderült, hogy a várakozásokkal ellentétben az alkalmazott matt fekete festékek és bevonatok nem környezetbarátok, mert optikailag azok is többé-kevésbé, de vonzzák a polarotaktikus rovarokat.

## Vizsgálati módszerek

### 1. terepkísérlet

Első terepkísérletünket 6 meleg napon végeztük 2013. május 15. és 29. között, a Duna–Ipoly Nemzeti Parkhoz tartozó Dömörkapunál a Bükkös-patak mentén (47° 40' É, 19° 03' K), amivel párhuzamosan (attól 7 méternél nem távolabb) egy aszfaltút húzódott. E hegyi patak különböző pozitív polarotaxissal rendelkező kérészfaj (Ephemeroptera: Baetidae, Heptageniidae) és szúnyoglábu légyfaj (Diptera: Dolichopodidae) számára szolgál kirajzási helyként [4–6]. A kérészek kifejlett egyedei minden évben május és június között szürkületkor jönnek elő a patakából. Ezután nagy számban rajzanak az aszfaltút fölött vagy annak közelében, így módon ez a hely ideális volt kísérleteink számára. A vizsgált fajok veszélyeztetettek Európában, így a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Természetvédelmi Felügyelőség engedélyezte a helyszínen történő kísérlet elvégzését. A helyszíni kísérletekben a vízszintes karosszéria-elemek kérészekre és szúnyoglábu legyekre kifejtett vonzó hatását vizsgáltuk. Három különböző, fémlapból készült (80 cm × 80 cm, 10 kg) tesztfelületet használtunk: (i) fényes fekete (100% szürkeség), (ii) matt fekete (100% szürkeség) és (iii) matt szürke (90% szürkeség). A tesztfelületeket egy karosszériafestéssel foglalkozó cég (Lakk-Mix Kft., Budapest) ugyanolyan fényes/matt fekete festékekkel (RAL), illetve matt szürke karbonfóliával (Avery 502) vont be, mint amilyeneket jelenleg az autóiparban használnak.

Egy adott napon a kísérlet nyári időszámítás szerinti 19 órakor kezdődött és 21 óráig tartott (Greenwich Mean Time, GMT + 2 óra). A tesztfelületek sorrendjét 5 percenként ciklikusan permutáltuk, hogy elkerüljük a helyha-

2. *ábra.* Matt fekete (a) és matt szürke fényezésű (b), illetve matt karbonfóliával ellátott tetővel és motorháztetővel rendelkező autó (c) Horváth Gábor felvételein.



tást. Minden átrendezés után lefényképeztük mindhárom tesztfelületet, hogy dokumentáljuk a rájuk szálló vagy közvetlenül felettük néhány dm-re repkedő rovarokat. Később számítógépes kiértékeléssel összeszámoltuk az egyes fényképeken látható kérészeket és szúnyoglábu legyeket. Bár e rovarokat nem lehetett fajra beazonosítani, biztosan az Ephemeroptera rendbe, Baetidae és Heptageniidae családba, illetve a Diptera rendbe és a Dolichopodidae családba tartoztak. Ugyanezen a helyszínen végzett korábbi terepkísérleteink alapján tudjuk, hogy ott a következő fajok fordulnak elő: *Baetis rhodani*, *Epeorus sylvicola*, *Rhithrogena semicolorata* (kérészek), *Dolichopus unguilatus*, *Dolichopus acuticornis*, *Dolichopus agilis* (szúnyoglábu legyek).

## 2. terepkísérlet

Második terepkísérletünket napsütéses, meleg napokon végeztük 2013. június 24. és július 27. között egy szokolyai lovastanyán (47° 52' É, 19° 00' K) 20 alkalommal. Korábbi nyári terepkísérleteink [4, 6] alapján tudjuk, hogy e helyszínen nagy mennyiségben fordulnak elő bögölyök. Így itt vizsgáltuk az 1. kísérletnél használt három tesztfelület (fényes fekete, matt fekete, matt szürke) bögölyökre gyakorolt vonzó hatását. A tesztfelületeket a lovastanyához közel, egy mezőn, egyenes vonal mentén helyeztük el a földön, egymástól 1 m távolságra, 5 m-re egy bokor- és fasortól. Két személy 2 m távolságban ült a tesztfelületektől és folyamatosan számolta a bögölyök felületekre adott reakcióit. Egy adott napon a kísérlet 9 órakor kezdődött és 14 óráig tartott (GMT + 2 óra). A felületek sorrendjét óránként ciklikusan permutáltuk.

Földön fekvő, vízszintesen poláros fényt visszaverő felületek közelében a következő három reakció jellemző a bögölyökre [8]: (i) levegőbeli körözés (a repülő rovar megközelíti a felületet, és legalább egy kört tesz fölöttesen a levegőben néhány dm magasságban), (ii) érintés (a rovar legalább egyszer megérinti a felületet, azután elrepül), és (iii) leszállás (a rovar leszáll a felületre, és legalább 3 másodpercig rajta marad). E viselkedéselemeket figyeltük a 2. kísérletünk folyamán. Bár a megfigyelt bögölyöket nem lehetett fajra beazonosítani, bizonyos, hogy a Tabanidae családba tartoztak. A lovastanyán e 2. kísérlettel egyidejűleg különböző bögölycsapdákat alkalmazó két másik kísérlet is zajlott. Mivel az ott csapdázott bögölyök később határozásra kerültek – a határozást *Gyurkovszky Mónika* és *Farkas Róbert* (Parazitológiai és Állattani Tanszék, Állatorvostudományi Kar, Szent István Egyetem, Budapest) végezte –, tudjuk, hogy a következő bögölyfajok fordultak elő a 2. kísérletünk alatt: *Tabanus tergustinus*, *T. bromius*, *T. bovinus*, *T. autumnalis*, *Atylotus fulvus*, *A. loewianus*, *A. rusticus*, *Haematopota italica*.

## Képpalkotó polarimetria

Különböző fekete és szürke matt autók, illetve az 1. és 2. terepkísérletben használt tesztfelületek polarizációs tulajdonságait képpalkotó polariméterrel [2] mértük a

spektrum vörös (650±40 nm = a polariméter CCD-dektora maximális érzékenységének hullámhossza ± félértékisélesség), zöld (550±40 nm) és kék (450±40 nm) tartományában. A kérészek, szúnyoglábu legyek és bögölyök az ultravioleta, kék és zöld színekre érzékeny fotoreceptorokkal rendelkeznek [9], az azonban nem ismert, hogy e rovarok a spektrum mely tartományában érzékelik a poláros fényt. Cikkünkben csak a kék spektrális tartományban mért polarizációs mintázatokat mutatjuk be. A vizsgált autók és tesztfelületek polarizációs mintázatai nagyon hasonlóak a vörös és zöld tartományokban is, mivel színtelenségüknek (fekete/szürke) köszönhetően a róluk visszaverődő napfény és égboltfény polarizációs tulajdonságai csak kis mértékben függnek a fény hullámhosszától.

## Statisztikai elemzések

Az 1. és 2. terepkísérlet során a különböző tesztfelületek által vonzott rovarok reakcióinak összehasonlítására nem-paraméteres Kruskal–Wallis-tesztet használtunk. Mivel a Kruskal–Wallis-tesztek mindhárom rovarcsoportnál szignifikánsnak bizonyultak, post-hoc összehasonlításként további Mann–Whitney U-tesztet végeztünk Bonferroni-korrekcióval, hogy megtudjuk, mely csoportok mutatnak szignifikáns különbséget. Minden statisztikai tesztet Statistica 7.0 szoftverrel végeztünk.

(Terjedelmi korlátok miatt a kísérleti eredmények bemutatására és kiértékelésükre a következő lapszámokban kerül sor.)

## Irodalom

1. 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-polarization signals. *Proceedings of the Royal Society B* 273 (2006) 1667–1671.
2. Horváth G. (editor): *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences* (2nd edition, p. 649) Springer Series in Vision Research, volume 2 (series editors: Shaun P. Collin, Justin N. Marshall) Springer-Verlag: Heidelberg, Berlin, Dordrecht, London, New York, 2014.
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) 317–325.
4. Egri Á., Blahó M., Sándor A., Kriska Gy., Gyurkovszky 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) 407–416.
5. 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. *Journal of Experimental Biology* 201 (1998) 2273–2286.
6. 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 (2009) 1167–1173.
7. Blahó M., Herczeg T., Kriska Gy., Egri Á., Száz D., Farkas A., Tarjányi N., Czinke L., Barta A., Horváth G.: Unexpected attraction of polarotactic water-leaving insects to matt black car surfaces: mattness of paintwork cannot eliminate the polarized light pollution of black cars. *PLoS ONE* 9 (2014) e103339.
8. Krcmar S., Lajos P.: Response of horse flies to aged equine urine (Diptera: Tabanidae). *Entomol. Gener.* 33 (2011) 245–250.
9. Briscoe A. D., Chittka L.: The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology* 46 (2001) 471–510.