

A kérészek vízetektálási viselkedése, avagy miért petéznek a kérészek száraz aszfaltutakra?*

KRISKA GYÖRGY¹ és ANDRIKOVICS SÁNDOR²

¹ ELTE Biológiai Szakmódszertani Csoport, Budapest, 1117 Pázmány Péter sétány 1/C.

E-mail: kriska@ludens.elte.hu

² EKTf Állattani Tanszék, Eger, 3300 Leányka u. 4.

Összefoglalás. Megfigyeltük, hogy különböző kérészfajok nagy számban rajzanak száraz aszfaltutak fölé. A kérész egyedek és a kopuláló párok sokszor leereszkedtek az aszfaltútra és párzás után a nőstények petecsomóikat is ide rakták le, ahelyett, hogy az aszfaltút közelében futó patakba petézték volna. Ezek a jelenségek, különösen a nőstények peterakási viselkedései azt sugallták, hogy az aszfaltfelszín vonzza a kérészeket és rovarcsapdaként működik. A kérészek rajzási, szaporodási és peterakási viselkedésével foglalkozó korábbi kutatások nem adtak magyarázatot erre a sokfelé előforduló különös jelenségre. Két éves kutatást folytattunk azért, hogy tisztázzuk a kérészek aszfaltutak feletti rajzásának az okait. A két év során hat kérészfaj rajzását vizsgáltuk meg. Ennek során videofelvételeket készítettünk, összetett választásos kísérleteket, videopolarimetriás méréseket és vizuális megfigyeléseket végeztünk terepen. Megfigyeléseink eredményeként vázoltuk fel a kérészek aszfaltutak feletti szexuális viselkedésének új interpretációját. Kimutattuk, hogy a kérészek vízetektálása a vízfelszínről érkező vízszintesen polarizált fény segítségével történik hasonlóan sok más vízirovarhoz. Az aszfaltutak hasonlóak egy vízszintesen polarizált fényt visszaverő vízfelszínhez a vizet kereső rovarok számára, ezért a rajzó és petéző kérészeket is megtévesztik.

Kulcsszavak: kérészek, Ephemeroptera, vízetektálás, vízszintesen polarizált fény, videopolarimetria.

Bevezetés

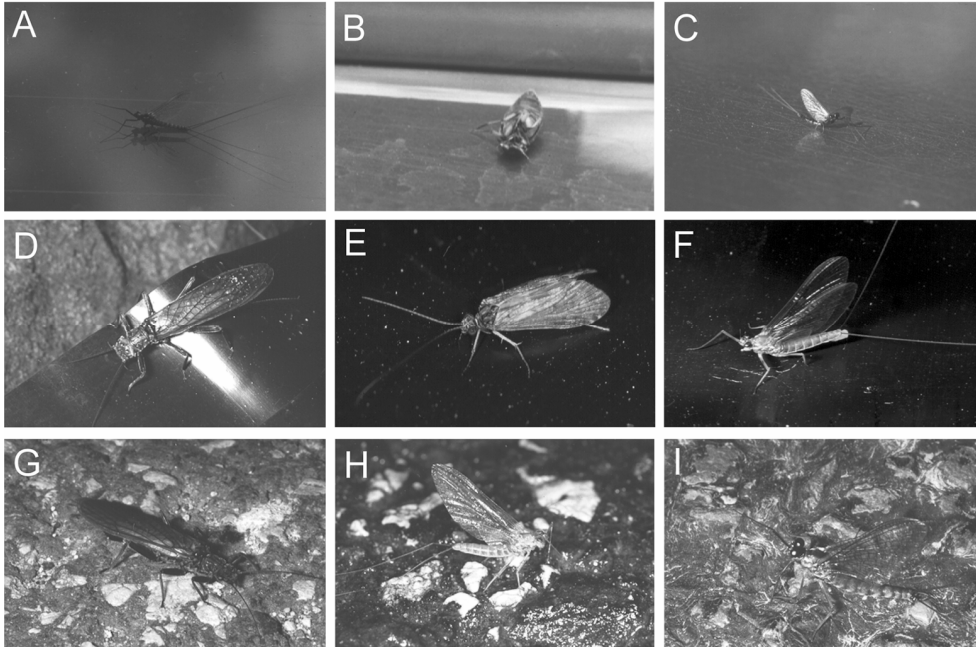
Három éven keresztül minden tavasszal megfigyeltük, hogy több különböző kérészfaj nagy számban rajzik száraz aszfaltutak fölé. A kérész egyedek és a kopuláló párok sokszor leereszkedtek az aszfaltútra és párzás után a nőstények petecsomóikat is ide rakták le ahelyett, hogy az aszfaltút közelében futó hegyi patakba petézték volna.

Ezek a jelenségek, különösen a nőstények peterakási viselkedése azt sugallták, hogy az aszfaltfelszín vonzza a kérészeket, és egyfajta rovarcsapdaként működik. A kérészek rajzási, szaporodási és peterakási viselkedésével foglalkozó korábbi kutatások nem adtak magyarázatot erre a sokfelé előforduló különös jelenségre. Gyakran megfigyeltünk még kérészeket autók szélvédője és fényes karosszériája fölé is (1. ábra).

A szakirodalomban számos, a vízi rovarokkal kapcsolatos megfigyelés szerepel, amelyek szerint ezek a rovarok gyakran fellelhetők üvegtáblákon, kocsitetőkön és nedves aszfaltutakon (FERNANDO 1958, POPHAM 1964). Annak ellenére, hogy a fentiekben említett,

* Előadták a szerzők az Állattani Szakosztály 884. ülésén (1998. június 3.).

kérészekkel kapcsolatos megfigyelések ismeretese az entomológus szakemberek számára, ezt a jelenséget csak szórványosan írták le publikációikban, beszámolóikban marginális jegyzetek formájában. Dolgozataikban általában azt feltételezték, hogy az aszfaltutak jelzik a rajzás és szaporodás helyeit (BRODSKIY 1973, SAVOLAINEN 1978). A kérészek aszfaltutakra történő petézését egyszerűen azzal magyarázták, hogy a fényes felületű, nedves aszfaltutak vizuálisan hasonlóak lehetnek a rovarok számára, mint a valódi vízfelszínek.



1. ábra. Néhány példa arra, hogy különböző, mesterséges tükrözőfelületek képesek megtéveszteni és magukhoz csalni a vízhez kötődő rovarokat. Ilyen felület például egy gépkocsi szélvédője (A) vagy motorházteteje (B, C), mezőgazdasági műanyagfóliák (D–F), és aszfaltutak (G–I). (A) Hím kérész (*Rhithrogena semicolorata*). (B) Csibor (*Hydrophilidae* sp.). (C) Hím kérész (*Baetis rhodani*). (D, G) Nőstény óriás álkérész (*Perla burmeisteriana*). (E) Nőstény tegzes (*Trichoptera*). (F, H) Nőstény kérész (*Rhithrogena semicolorata*). (I) Hím kérész (*Epeorus silvicola*).

Figure 1. Examples of mayflies deceived by and attracted to wind-screen (A) and car-body (B, C) to shiny, black plastic sheet used in agriculture (D–F) and to a dry asphalt road (G–I). (A) A male *Rhithrogena semicolorata*. (B) *Hydrophilidae* sp. (C) A male *Baetis rhodani*. (D, G) A female stonefly (*Perla burmeisteriana*). (E) A female caddisfly (*Trichoptera*). (F, H) A female (*Rhithrogena semicolorata*). (I) A male (*Epeorus silvicola*).

A kérészek szaporodását rajzási viselkedésük előzi meg, amely során a rovarok egy csoportja egy markernek nevezett tereptárgy körül csoportosul. Az a feltételezés, amely szerint az aszfaltutak a rajzás markereiként szerepelnének, nem ad választ a kérészek aszfaltutakra történő petezésére, hiszen normális körülmények között a kérészek csak a vízfelszínre

petéznek, a markerekre nem. Ezen kívül a hím és nőstény imágók rajzása az aszfaltút fölött olyan viselkedési elemeket is tartalmaz (petéző repülés, ritmusos felszínérintések, felemelkedés, majd hirtelen leereszkedés a felszínre), amelyek a vízfelszín feletti viselkedést jellemzik. Nem tudjuk továbbá, hogy a kérészek petézése miért következik be gyakran a teljesen száraz aszfaltfelszínen is. Az alábbiakban egy magyarázatot adunk erre a meglepő viselkedésre.

A nőstények koncentrálódása a rajban és a raj állandó pozíciója a sikeres szaporodás fontos feltétele, mert az ivarérett stádium igen rövid a kérészeknél. A természetes és mesterséges tereptárgyak közül marker lehet például tavak partrésze, utak vagy a parti növényzet lombkoronaszintje (SAVOLAINEN 1978).

Az ivarérett stádium rövidege és amiatt, hogy a frissen kikelt imágók könnyen kiszáradhatnak és ezért elpusztulhatnak, a kérészek viszonylag közel maradnak ahhoz a vízi élőhelyhez, ahol lárváik fejlődnek. Emiatt létfontosságú, hogy a tereptárgyak közel legyenek a vízhez. A kérészrajzások markereinek a kutatók nagy fontosságot tulajdonítanak (BRODSKIY 1973, FISCHER 1992, SAVOLAINEN 1978). A kutatások eredményei szerint a kérészkibújások közelében található aszfaltút markere lehet a rajzásnak.

A fentiekben felvázolt viselkedés okainak feltárása nemcsak a kérészek tudományos kutatása szempontjából fontos kérdés, hanem a napjainkban mind jobban megritkuló rovarcsoport védelme miatt is, mivel az aszfaltútra lerakott petecsomók (egy nőstény kérész petecsomója 6000–9000 petét is tartalmazhat) rövid idő alatt kiszáradnak és elpusztulnak. A kérészek vízi élőhelyei nagy veszélynek vannak kitéve a fokozódó vízszennyezések miatt.

Mindezek következtében a kérészek tömegrajzása napjainkban ritka jelenségnek számít. Ilyen körülmények között fontos lehet megállapítani, hogy az aszfaltutakra történő peterakás megelőzhető-e? Ezt a kérdést kevésbé tanulmányozták annak ellenére, hogy a kérészkutatás milyen kitüntetett figyelmet szentelt a rajzásformációk tudományos vizsgálatának.

Két éves kutatást folytattunk azért, hogy tisztázzuk a kérészek aszfaltutak feletti rajzásának okait. A két év során hat kérészfaj rajzását vizsgáltuk.

Módszerek

A kísérletek helyszíne a Bükkös-pataknál

A kutatás helyszíne a Pilis-hegységi Dömörkapu volt, amely Budapesttől 30 km-re fekszik. A vizsgálatokat a Bükkös-patak partján egy tipikus középhegységi hegyi pataknál folytattuk, amelyből nagy számban rajzanak ki kérészek májusban és júniusban (ANDRIKOVICS 1998, ANDRIKOVICS & KÉRI, 1991). A pataktól 1–5 m-es távolságban egy aszfaltút fut, fákkal és bokrokkal szegélyezve, párhuzamosan a patakkal. Néhány helyen az aszfaltút kis hídon vezet át a patak felett. A patak egymagában fut a völgyben égerligetek között, néhol magaskórósokkal övezve. Ahol az út keresztezi a vízfolyást, csak ott tűnik el egy rövid szakaszon a felszín fölé boruló dús vegetáció. Az út néhány méterrel magasabban fut a pataknál és fölötte nyitott az égbolt. Az aszfaltút felszíne a legtöbb helyen viszonylag sima és

sötétszürke, de találhatunk több foltot, amely világosszürke és durva a felszíne a rászórt fehér közüzaléktól.

Terepvizsgálataink során a Bükkös-pataknál figyeltük meg az *Ephemera danica* (Müll.), az *Ecdyonurus venosus* (Fabr.), az *Epeorus silvicola* (Etn.), a *Baetis rhodani* (Pict.), a *Rhithrogena semicolorata* (Curt.), és a *Haproleptoides confusa* (Hag.) fajok, reprodukív viselkedését a száraz aszfaltút felett. A tesztfelületes kísérleteket az *Epeorus silvicola* és a *Rhithrogena semicolorata* fajokkal végeztük el. A kísérletek május második felében és június első felében folytak 1996-ban és 1997-ben.

Választásos kísérletek különböző tesztfelületek felhasználásával

A Bükkös-patak melletti kísérletekben téglalap alakú, különböző anyagú tesztlapokat az úttal párhuzamosan fektettünk az aszfaltút felületére, különböző távolságokban a pataktól, ahol a kérészek rajzottak. Az 1x2 m-es tesztfelületeket 0,5 m távolságban helyeztük el egymástól. Tesztfelületként fényes fekete műanyag (polietilén) fóliát, fényes tejfehér műanyag (polietilén) fóliát, fényes alumínium fóliát, kissé fényes fekete ruhaanyagot, matt fekete ruhaanyagot és matt fehér ruhaanyagot használtunk. Azért, hogy a színek hatását kizárjuk olyan tesztfelületeket alkalmaztunk, amelyek anyaga csak spektrálisan semleges, szürke fényt reflektált.

Megszámoltuk a landoló és fólia fölött közvetlenül (a magasság nem volt több 0,1 m-nél) rajzó kérészeket a tesztfelület 0,1 m x 0,1 m-es területén. A tesztfelületek helyzetét többször véletlenszerűen változtattuk egymáshoz képest, hogy elkerüljük a tesztfelület pozíciójából származó esetleges hatást, ami az odavonzott kérészek számát is befolyásolhatja.

A kísérleteket mindig felhőtlen égboltnál végeztük. A kísérletek kezdetekor a lenyugvó Nap direkt fénye később pedig az égboltnál világította meg a területet. A vizuális megfigyeléseken túl videofelvételeket is készítettünk az aszfaltút és a tesztfelületek fölötti rajzási viselkedésekről. Ezen kívül fényképfelvételekkel dokumentáltuk a kérészek landolását és peterakását az aszfaltúton és a tesztfelületeken. A kísérletek során mértük a patakvíz hőmérsékletét, a levegő hőmérsékletét a patak és az aszfaltút mellett, valamint az aszfalt és a tesztfelületek felszíni hőmérsékletét.

Az aszfaltútról, a Bükkös-patakról és a tesztfelületekről készült videopolarimetriás felvételek

Ahhoz, hogy optikai környezetünk különféle polarizációs mintázatait kimutathassuk, számunkra is láthatóvá tegyük, az úgynevezett nagylátószögű vagy képalkotó polarimetriára van szükségünk. Ennek egyik változata a videopolarimetria (HORVÁTH & VARJÚ 1997, HORVÁTH et al. 1998a,b, GÁL 1997) alkalmas arra, hogy az emberi szem számára láthatatlan, de a technikában jól használható és számos állat számára nélkülözhetetlen fénypolarizáció térbeli eloszlását mérhessük vele és nagyfelbontású, kétdimenziós, hamisszínes eloszlástérképek formájában megjeleníthessük.

A módszer lényege, hogy egy videokamerával felvesszük a kiválasztott tárgy vagy élőhely képét, miközben az objektívlencse előtt egy lineáris polárszűrőt forgatunk. (A lineáris polárszűrő olyan mesterséges vagy természetes kristálybevonatot hordozó optikai szűrő, amely csak bizonyos rezgési síkú fénykvantumokat enged át.) A polárszűrő rezgéssíkját kezdetben például függőlegesen állítjuk, majd néhány másodperc elteltével az óramutató já-

rásával megegyező irányban 45 fokkal elforgatjuk. Ezt a műveletet újabb néhány másodperc elteltével megismétljük, és a polárszűrő mindenkori irányát feljegyezzük. A videofelvételt ezután képdigitalizáló kártyával ellátott személyi számítógéppel feldolgozzuk, és a polárszűrő három állásához (0°, 45°, 90°) tartozó három színes képet állítunk elő. Ha a felvett kép adott pontjáról jövő kép részlegesen poláros, akkor a fény intenzitása (I) szinuszosan változik a forgó polárszűrő irányától függően. Egy alkalmas számítógépes programmal az adott képponthoz tartozó három fényintenzitás értékre illesztett szinuszfüggvény paramétereiből kiszámítható a vizsgált pontból jövő fény polarizációjának foka és iránya. E számításokat a felvett kép minden egyes pontjára elvégezve végül meghatározható és hamisszínes kódolással a számítógép képernyőjén megjeleníthető a vizsgált tárgy fényintenzitásának, polarizációfokának és polarizációs irányának térbeli eloszlása. A videopolarimetriás felvételek kiértékelését az ELTE Biológiai Fizika Tanszékén, DR. HORVÁTH GÁBOR Biooptika Laboratóriumában végeztük el.

Eredmények és értékelés

A kérészek rajzási viselkedéséről

Fajtól függően a kérészrajzások napnyugta előtt vagy után kezdődnek május elejétől június végéig minden évben. Miután a rovarok kirepültek a hegyi patakból, a hímek rajokban gyűlnek össze a levegőben 4–5 méterre a talajfelszíntől. A rajzás kezdetekor ilyen diffúz rajokat figyeltünk meg a kirepülési hely szomszédságában a patak mentén, az aszfaltút fölött, az ösvényeknél és a tisztások fölött a kirepülési hely szomszédságában. A rajokat általában ott fedeztük fel, ahol az égbolt látható volt. Az idő előrehaladtával a rajok fokozatosan közelítettek a földfelszínhez és egyre több nőstény repült a rajokba, hogy párosodjon a hímekkel. A párzás után a nőstények visszatértek a patakhoz, vagy az aszfalton landoltak és lerakták petecsomóikat. Később, amikor a levegő hőmérséklete és az alkonyati fény csökkenni kezdett, a rajok fokozatosan elhagyták az erdei tisztásokat és ösvényeket. Főleg ilyenkor figyeltünk meg rajzó kérészeket az aszfaltút fölött és azokon a patakrészekben, amelyek fölött látható volt az égbolt. Ezekben a rajokban mind a hímek, mind a nőstények periodikusan fel-le szálltak, fajspecifikus násztáncot járva (FISCHER 1992), vagy párhuzamosan repültek a víz és az aszfaltfelszín fölött, a völgyből érkező hűvösebb légáramlattal szemben. Gyakran megérintették a víz- és aszfaltfelszínt, vagy leereszkedtek rá néhány másodpercig, majd újra felemelkedtek. Amikor a levegő hőmérséklete 14–15°C alá csökkent és a fényintenzitás is alacsony lett, a kérészrajzás hirtelen abbamaradt és a rovarok eltűntek mind a víz-, mind pedig az aszfaltfelszín közeléből. Leszálltak a környező fák, bokrok leveleire és eltűntek a magaskórósokban. Mind a hat általunk vizsgált kérészfaj ugyanazt a viselkedést mutatta az aszfaltúton, mint a vízfelszínen. A rajzás sűrűsége, a kérészek landolásának, peterakásának száma az aszfaltút azon foltjain volt a legnagyobb, amelyek simábbak és sötétebbek voltak a szomszédos felülethez képest. A reproduktív viselkedés nem jelent meg a világosszürke vagy durva felszínű aszfaltrészek fölött. A nőstény kérészimágók egyik jellemző reakciója a sima felszínű, fekete aszfaltfoltok felett a következő volt: Miután a levegőben megtörtént a kopuláció, a nőstények megérkeztek az egyik folt fölé. Először átrepültek a folt fölött, majd hirtelen visszafordultak annak határán

és a völgyből érkező gyenge légáramlással szembefordulva szinte egy helyben repültek a folt felett. A nőstények több alkalommal érintették az aszfaltfelszínt, majd leszálltak rá, hogy lerakják petecsomóikat. A megfigyelt viselkedés alapján megállapíthattuk, hogy a sötétebb és simább aszfalt sokkal vonzóbb a vizet kereső kérészek számára.

Az általunk vizsgált hat kérészfajnál két olyan repüléstípust figyeltünk meg, amely általában csak a víz felett következik be:

1. A nőstények szembehelyezkedtek a völgyből érkező gyenge légáramlással, majd odavissza repültek az aszfaltút felületével párhuzamosan, le-fel táncoltak és néha érintették az aszfaltot. Ezt a repülési típust csak a nőstények mutatták az aszfaltút középső részén.

2. A petéző repülés során a nőstények jellegzetes fajspecifikus mozgáskombinációt mutattak be (FISCHER 1992), amely különbözött a rajzó hímimágók táncától és egyidejűleg jelent meg azzal. A petéző repülés előrehaladtával egyre több nőstény imágó rakta le petéit. A repülés végén a nőstények leszálltak az aszfaltra és lerakták petecsomóikat. A nőstények leszálltak az aszfaltra és addig maradtak ott, amíg ki nem préselték testükből és le nem rakták petecsomóikat. A petéző repülés funkciója elsősorban az optimális petézőhely megtalálása, és/vagy a nagyszámú pete kipréselése, és/vagy védekezés a rajzó hím imágók kopulációs támadásával szemben (FISCHER 1992).

A hímek szintén periodikusan érintgették az aszfaltfelszínt repülésük során, miközben szembefordultak a légáramlással. Az egyedek egy része csak a cercuszaival érintette az aszfaltot, miközben folyamatosan le-fel szállt az út fölött. Mások leereszkedtek az aszfaltra és egy-két másodpercet töltöttek ott. Ezután felszálltak, majd néhány másodperccel később újra leszálltak. A hímek hasonló vízérintő repülését figyelte meg FISCHER (1992) a kérészek kirepülési helyein, a vízfelszínen (*Baetis vernus*, *Ecdyonurus venosus*, *Rhithrogena semicolorata*, *Ephemera danica*) fajok esetében. FISCHER (1992) szerint ezek a vízérintgetések teszik lehetővé, hogy az imágók vizet vegyenek fel, vagy a cercuszaik segítségével érzékeljék a helyzetüket a vízfelszín fölött.

Tesztfelületes kísérletek rajzó kérészekkel

Az 1. táblázat bemutatja a levegő hőmérsékletét és a *R. semicolorata* egyedek landolásainak számát három különböző tesztfelületen (fényes fekete műanyag fólia, fényes fehér műanyag fólia, fényes alumínium fólia) 0,1x0,1 m-es felületén.

A *R. semicolorata* egyedeket szinte kizárólag csak a fényes fekete műanyag fólia vonzotta. Az aszfaltút feletti rajzás kezdetekor (kb. 19 órakor, nyári időszámítás szerint) csak néhány kérész landolt a fekete fólián, de a számuk gyorsan nőtt az idő előrehaladtával. 20:40-kor a reprodukív aktivitás elérte maximumát a műanyag fólián. A rajzás intenzitása 20–30 perccel később hirtelen alábbhagyott a hőmérséklet és a világosság csökkenése miatt.

A fényes fehér műanyag fólia és az alumínium fólia nem vonzotta a *R. semicolorata* egyedeket. Amint azt a 2. táblázat demonstrálja, hasonló eredményeket kaptunk az *E. silvicola* esetében is. A mérések során nem találtunk hőmérsékletkülönbséget a tesztfelületek között. Mindkét hőmérséklet fokozatosan csökkent a rajzás előrehaladtával.

Az 1996-ban végzett első tesztfelületes kísérletsorozat eredményeként megállapítottuk, hogy a fényes fekete műanyag fólia (amelyik oly módon tükrözte vissza a fényt, hogy a fényugár beesési szöge egyenlő volt a visszaverődés szögével, és csak kis mennyiségben

verődött vissza a fény más irányokba) volt az egyetlen vonzó felület mind a hat általunk vizsgált kérészfaj számára. Tesztfelületként kevésbé fényes fekete vásznat és matt fehér vásznat használtunk, amely diffúzan minden irányban verte vissza a fényt. A kísérletek eredményeit a 3. táblázat mutatja be.

1. táblázat. A levegő hőmérséklete, valamint háromféle tesztfelület (fényes fekete műanyag fólia, fényes fehér műanyag fólia, fényes alumínium fólia) 0,1 x 0,1 m-es területén, 30 s alatt landoló *R. semicolorata* egyedek száma, 1996. május 23-án.

Table 1. Air temperature and the number of *Rhithrogena semicolorata* landing on a 0.1 m x 0.1 m area of three test surfaces (shiny black plastic sheet, shiny white plastic sheet, shiny aluminium foil) during a period of 30 s on 23 May 1996.

Idő (h)	Levegő hőmérséklet (°C)	Rovarlandások száma		
		fényes fekete műanyag fólia	fényes fehér műanyag fólia	fényes alumínium fólia
19:06	25,5	1	0	0
19:09	25,5	3	1	0
19:12	25,0	4	0	0
19:32	24,0	8	0	0
19:35	24,0	9	2	0
19:41	23,5	13	1	0
20:09	21,5	16	0	0
20:20	21,0	33	1	0
20:25	20,5	57	1	2
20:33	20,0	97	1	0
20:40	19,0	166	0	0
20:48	18,0	85	0	2
20:56	17,0	29	2	0
21:02	16,0	9	1	0

A fényes fekete műanyag fólia itt is vonzóbb volt mint a vásznak. A fehér vászon egyáltalán nem, míg a fekete vászon kis számban vonzotta a kérészeket. Ennek az volt az oka, hogy a fekete vászon kissé fényes volt. Az 1997-ben folytatott kísérleteink során az egyik felület egy teljesen matt fekete vászon volt. A másik két tesztfelület a fényes fekete műanyag fólia és a matt fehér vászon volt. A tesztfelületek fölött közvetlenül rajzó és landoló *Epeorus silvicola* egyedek számát a 4. táblázat adja meg. A fekete és fehér matt felületek nem vonzották a kérészeket, csak a fényes fekete műanyag felszín volt vonzó számukra. Hasonló eredményeket kaptunk a *Rhithrogena semicolorata* esetében is (5. táblázat). Ennél a fajnál a vásznanak és az alumínium fólián megfigyelt kérészek főleg kopuláló párok voltak, amelyek még a levegőben kezdték el a párzást és ezután hullottak a tesztfelületre. A fekete műanyag fólián megfigyelt kérészek főleg egyedülálló hímek és petéző nőtények voltak, bár elég sok kopuláló pár is volt a felszínen.

2. táblázat. A levegő és a tesztfelületek hőmérséklete, valamint háromféle tesztfelület (fényes fekete műanyag fólia, fényes fehér műanyag fólia, fényes alumínium fólia) 0,1 m x 0,1 m-es területén, 30 s alatt landoló *E. silvicola* egyedek száma, 1996. június 3-án.

Table 2. Air temperature, temperature of the test surfaces and the number of *Epeorus silvicola* landing on a 0.1 m x 0.1 m area of three test surfaces (shiny black plastic sheet, shiny white plastic sheet, shiny aluminium foil) during a period of 30 s on 3 June 1996.

Idő (h)	A levegő hőmérséklete (°C)	A tesztfelületek hőmérséklete (°C)	Rovarlandolások száma		
			fényes fekete műanyag fólia	fényes fehér műanyag fólia	fényes alumínium fólia
19:10	25,0	27,5	11	0	0
19:12	25,0	27,0	9	0	0
19:15	24,5	27,0	9	0	0
19:19	24,0	26,5	24	0	0
19:22	23,5	26,0	26	1	0
19:25	23,0	25,5	19	1	0
19:29	22,0	24,5	16	0	0
20:03	21,5	23,5	3	0	0

3. táblázat. Háromféle tesztfelület (fényes fekete műanyag fólia, kissé fényes fekete vászon, matt fehér vászon) 0,1 x 0,1 m-es területén, 30 s alatt landoló *R. semicolorata* egyedek száma, 1996. június 17-én.

Table 3. The number of *Rhithrogena semicolorata* landing on a 0.1 m x 0.1 m area of three test surfaces (shiny black plastic sheet, slightly shiny black cloth, matt white cloth) during a period of 30 s on 17 June 1996.

Idő (h)	Rovarlandolások száma		
	fényes fekete műanyag fólia	kissé fényes fekete vászon	matt fehér vászon
19:33	25	6	0
19:38	18	3	0
19:43	20	3	2
19:48	25	2	0
19:53	23	5	1
19:58	22	4	0
20:03	24	4	0
20:08	16	3	0
20:13	23	4	0
20:18	21	4	0

Az 5. táblázat mutatja a hat kérészfajnál megfigyelt tipikus eloszlást. A rajzás kezdete-kor csak néhány kérész imágó landolt a fényes fekete műanyag fólián, de később majdnem minden rajzó egyed periodikusan landolt rajta. A rajzás végén a korábban a fekete műanyag fólia felett repülő kérészegyedek közül egyre többen ereszkedtek a fóliára. Amikor a fekete

műanyag fólia egy részét befedtük egy másikfajta tesztfelülettel, akkor a reprodukzív viselkedés ebben a régióban abbamaradt, de a környező részeken ugyanúgy folytatódott.

4. táblázat. Háromféle tesztfelület (fényes fekete műanyag fólia, matt fekete vászon, matt fehér vászon) 0,1 x 0,1 m-es területén landoló, és 0,1 m-es magasságban felette repülő *E. silvicola* egyedek száma, 30 s alatt, 1997 május 6-án. A kérészek számát a+b formátumban adtuk meg, ahol 'a' a felületen landoló kérészek, míg 'b' a felület fölött rajzó kérészek száma.

Table 4. The number of *Epeorus silvicola* landing on and flying above (within a height of 0.1 m) the 0.1 m x 0.1 m area of three test surfaces (shiny black plastic sheet, matt black cloth, matt white cloth) during a period of 30 s on 6 May 1997. The numbers of mayflies are given in the format a+b, where a is the number of insects landing on the surface and b is the number of insects swarming above it.

Idő (h)	Rovarlandolások száma		
	fényes fekete műanyag fólia	matt fekete vászon	matt fehér vászon
20:12	13 + 50	0 + 3	0 + 0
20:14	20 + 150	1 + 2	0 + 0
20:20	160 + 170	0 + 0	0 + 0
20:27	32 + 32	0 + 0	0 + 0
20:30	16 + 10	0 + 0	0 + 0

Amikor pedig eltávolítottuk a másikfajta tesztfelületet, akkor néhány másodperc múlva újra megjelentek az állatok és reprodukzív viselkedést mutattak a korábban letakart rész felett is.

Azért, hogy demonstráljuk a rajzó kérészek erős vonzódását a fényes fekete műanyag fóliához, több alkalommal áthelyeztük a tesztfelületet úgy, hogy közben folyamatosan nagy számban rajzottak felette a kérészek. A fóliát lassan mozdítottuk el úgy, hogy a felszíne mindvégig vízszintes maradjon. A fekete műanyag fóliát 3–4 méterrel vittük távolabb az eredeti helytől, miközben a rajzó kérészek mindvégig követték a lassan mozgó fóliát.

Amikor a fekete műanyag fóliát a rajzó kérészek „felhőjével” együtt egy másik tesztfólia fölé vittük, majd a fekete fóliát hirtelen eltávolítottuk, akkor a „kérészfelhő” az új tesztfelület fölé hamar szétszórt. Amikor a tesztfelületek elhelyezkedését megváltoztatva a fekete fóliát felcseréltük egy másik, a kérészek számára nem vonzó tesztfelülettel, akkor a kérészek gyorsan visszatértek a preferált fekete fóliához és rajba tömörültek. Ha a fekete fóliát függőleges helyzetbe fordítottuk, akkor a kérészek nem rajzottak a közelében és nem is követték, amikor lassan elmozdítottuk. Ugyanezt tapasztaltuk, amikor ezt a kísérletet a többi tesztfelülettel is elvégeztük.

Lepkeháló segítségével több tucat kérészt gyűjtöttünk be (egyedülálló hímeket és nőstényeket, petező nőstényeket, és kopuláló párokat), amelyek a fekete fólia fölött rajzottak, majd eleresztettük őket egy másik tesztfelületen. Ezek a kérészek nem folytatták reprodukzív viselkedésüket az új tesztfelületen, hanem elhagyták azt és visszatértek a fekete fóliához. Ha a fekete fólián begyűjtött kérészeket egy másik fekete fólia fölött engedték szabadon, akkor ezek az egyedek nem váltottak helyet, hanem újra kezdték reprodukciós visel-

kedésüket. Ez azt bizonyítja, hogy a befogott kérészek nem a befogási procedúra miatt repültek el a fekete fóliától eltérő tesztfelületektől, hanem ezek a tesztfelületek taszítóak voltak a számukra.

A hegyi patak vizének hőmérséklete 12–14 °C között volt és nem változott a rajzás során a vizsgált napokon. A levegő hőmérséklete a patak felett (a távolság 1 m volt a vízfelszín fölött) magasabb volt, mint a víz hőmérséklete és 20–22 °C-ról 14–15 °C-ra csökkent a rajzás kezdetétől a befejezésig minden nap. A levegő hőmérséklete az aszfaltút felett (a távolság 1 m volt a felszíntől) mindig magasabb volt, és 25–26 °C-ról 16–17 °C-ra csökkent a rajzás folyamán (1.táblázat). A legmagasabb hőmérsékleteket az aszfaltúton és a tesztfelületeken mértük (2.táblázat).

5. táblázat. Négyféle tesztfelület (fényes fekete műanyag fólia, matt fekete vászon, matt fehér vászon, fényes alumínium fólia) 0,1 x 0,1 m-es területén, 30 s alatt landoló *R. semicolorata* egyedek száma, 1997. május 11-én.

Table 5. The number of *Rhithrogena semicolorata* landing on a 0.1 m x 0.1 m area of four test surfaces (shiny black plastic sheet, matt black cloth, matt white cloth, shiny aluminium foil) during a period of 30 s on 11 May 1997.

Idő (h)	Rovarlandolások száma			
	fényes, fekete műanyag fólia	matt fekete vászon	matt fehér vászon	fényes alumínium fólia
19:10	6	0	0	0
19:15	8	0	1	0
19:20	8	0	1	0
19:25	11	0	0	1
19:39	12	1	0	0
19:43	13	1	0	2
19:47	12	0	0	0
19:51	21	0	0	0
19:54	20	3	0	0
19:57	18	4	0	1
20:00	26	4	0	4
20:03	23	3	0	0
20:06	28	2	0	0
20:09	31	2	0	1
20:12	35	0	0	1
20:13	29	2	0	0
20:15	60	2	0	1
20:16	63	5	0	1
20:21	64	0	0	0
20:25	63	0	0	0
20:28	58	0	0	0
20:31	26	0	0	0
20:34	8	0	0	0
20:37	8	0	0	0

A kérészek rajzása napnyugtakor vagy nem sokkal ezután kezdődött, amikor a levegő hőmérséklete még mindig elég magas volt, mind az aszfaltút, mind a patak felett. A rajzás

befejeződött, amikor a hőmérséklet 14–16 °C alá süllyedt. A magasabb hőmérsékletű aszfaltút felett a kérészek reproduktív viselkedése kb. 15 perccel tovább tartott, mint azokon a patakrészekben, ahonnan az égbolt látható volt.

Mivel a tesztfelületek hőmérséklete nem különbözött egymástól, az eltérő kérészreakciókat nem lehet magyarázni a hőmérséklet érzékelésével. Hasonlóan a szaglás szerepét is kizárhatjuk a tesztfelületek kiválasztásánál (lásd alább). Feltételezésünk szerint a kérészek azért részesítették előnyben az aszfaltutat és a fekete műanyag fóliát, és azért kerültek el a többi tesztfelületet, mert ezek a felületek vizuálisan vonzóak, kevésbé vonzóak, vagy taszítóak voltak a számukra.

A videopolarimetriás vizsgálatok kiértékelései

A fényes fekete műanyag fóliáról ($\delta=55\%$) és a nedves aszfaltról ($\delta=51\%$) visszavert fény δ polarizációfoka volt a legnagyobb. A száraz aszfaltútról visszavert fény polarizációfoka ($\delta=31\%$) még mindig elég jelentős volt és sokkal magasabbnak bizonyult, mint a kissé fényes vászonról ($\delta=15\%$), a matt fekete vászonról ($\delta=9\%$) és a fényes fehér műanyag fóliáról ($\delta=7,7\%$) visszavert fény polarizációfoka. A matt fehér vászon ($\delta=3,3\%$) és a fényes alumínium fólia ($\delta=3,2\%$) gyakorlatilag polarizálatlan fényt vert vissza. A hozzávetőlegesen sík felületű, vízszintesen polarizált fényt visszaverő felületek miatt a száraz és nedves aszfaltútról, a fényes fekete, és a fényes fehér műanyag fóliákról visszaverődő fény polarizációjának iránya nem különbözött szignifikánsan a vízszintestől. A vásznakról visszavert fény elektromos térerősség vektorai (E-vektorai) viszont szignifikánsan különböztek a vízszintes iránytól a vásznak felületi egyenetlenségei miatt. A fényes alumínium fólia úgy verte vissza a fényt, hogy közben nem változott meg sem a foka, sem az iránya a beeső fény polarizációjának. Mivel a rajzási helyek és a tesztfelületes kísérletek helyszíne, az ég és a növényzet véletlenszerűen orientálódó levéllemezei véletlenszerűen orientálódó E-vektorokat alakítanak ki, az alumínium fóliáról visszaverődő fény polarizációjának az iránya is véletlenszerű, és a viszonylag alacsony polarizációfok jelentősen változik pontról-pontra a nézőpont irányától függően (POMOZI 1997, HORVÁTH & POMOZI 1997).

Ha a kérészek pozitív fototaxissal vonzódtak volna az aszfaltúthoz, akkor a fényes alumínium fólia, a fényes fehér műanyag fólia és a matt fehér vászon vonzotta volna őket a leginkább. Miután ennek az ellenkezőjét tapasztaltuk, ezért a fototaxis nem lehet az aszfaltnál tapasztalt viselkedés kulcsa. Azt figyeltük meg, hogy a kérészek csak a fényes fekete műanyag fóliához vonzódtak a tesztfelületek közül. Ez nem magyarázható a fekete fóliáról visszavert fény alacsony intenzitásával, mert a matt fekete vászon is hasonlóan kevés fényt vert vissza, mégsem volt vonzó a kérészek számára. Amikor a fény beesési szöge megegyezik a visszaverődés szögével, akkor a fényes fekete felület több fényt ver vissza, mint a matt fekete, ezért mindent összefoglalva a visszavert fény mennyisége nem vonzó inger a kérészek számára.

A műanyag fóliákról visszavert fény polarizálttá válik, de a fehér műanyag fóliáról visszavert fény polarizációfoka ($\delta=7,7\%$) sokkal kisebb, mint a feketéről visszavert fényé ($\delta=55\%$). A vásznakról visszavert fény polarizációfoka szintén nagyon alacsony volt, a visszavert fény E-vektora nem volt vízszintes. Mindezek alapján azt feltételezzük, hogy a visszavert fény polarizációja lehet az a legfontosabb tényező, amely megmagyarázza a fényes fekete műanyag fólia vonzó hatását. Megfigyeltük, hogy a fekete műanyag fólia csak

akkor volt vonzó, ha a felszíne vízszintes volt. A függőleges helyzetű fekete műanyag fólia, amelyről olyan fény verődött vissza, amelynek E-vektora függőleges, nem volt vonzó a kérészek számára. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy csak a vízszintesen polarizált fény vonzza a kérészeket.

Új tereptani módszer a kérészek rajzási viselkedésének tanulmányozására

Eredményeink azt sugallják, hogy a fényes fekete műanyag fólia kiválóan használható eszköz a kérészek reproduktív viselkedésének kutatásában. A terepen természetes körülmények között gyakran bonyolult tanulmányozni a kérészek rajzását, mert sokszor megközelíthetetlen helyeken csoportosulnak, a vízfelszín fölött vagy például nagy magasságokban. Néhány négyzetméternyi fényes fekete műanyag fólia elhelyezésével azonban odavonzhatjuk az egész rajt, amivel könnyebbé válik a kérészek tanulmányozása és befogása. Ez az egyszerű módszer segítségére lehet a kérészekkel foglalkozó terepkutatóknak.

Az egyedfejlődésükben vízhez kötött rovarok reakciói az aszfaltúton és a tesztfelületeken

Az aszfaltúton a kérészek mellett gyakran találtunk álkérészt (*Plecoptera*) imágókat is, hímeket és petés nőstényeket egyaránt. Az álkérészek többsége *Nemoura cinerea* volt. Az aszfaltúton több alkalommal megfigyeltünk *Chloroperla* sp., és *Isoperla* sp. egyedeket is. Terepvizsgálataink során szinte minden alkalommal megtaláltuk egy a *Hydropsyche* családba tartozó tegzesfaj egyedeit az aszfaltúton. A fényes fekete fólián ezen kívül egy alkalommal megfigyeltük még molnárkák (*Gerris* sp.) és sárgaszegélyű csíkbogár (*Dytiscus marginalis*) becsapódását is.

Mindezek a tapasztalatok azt sugallják, hogy a vizsgált kérészekon kívül más rovarok is polarotaxissal detektálják a vizet, ami a vízkereső stratégiának jelentős elterjedtségére és evolúciós sikerére is utal.

Köszönetnyilvánítás: Kutatásainkat részben az OTKA T-020931 és F-025826 számú pályázatai támogatták.

Irodalom

- ANDRIKOVICS S. (1991): On the long-term changes of the invertebrate macrofauna in the creeks of the Pilis-Visegrádi mountains (Hungary). – Verh. Int. Verein. Limnol. 24: 1969–1972.
- ANDRIKOVICS S. & KÉRI A. (1991): Winter macroinvertebrate investigations along the Bükkös stream (Visegrádi Mountains, Hungary). – Opusc. Zool. Budapest 24: 57–67.
- BERNÁTH B. (1999): A polarizáció-látás szerepének vizsgálata rovarok és madarak vízkeresésében. – Diplomamunka, ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, p. 50.
- BRODSKIY A. K. (1973): The swarming behavior of mayflies (Ephemeroptera). – Entomol. Rev. 52: 33–39.
- FERNANDO C. H. (1958): The colonization of small freshwater habitats by aquatic insects. General discussion, methods and colonization in the aquatic Coleoptera. – Ceylon J. Sci. 1: 116–154.
- FISCHER C. (1992): Evolution des Schwarmfluges und Flugverhalten der Ephemeropteren. – Ph.D. Thesis, Num. 1992/3291, Friedrich Alexander University of Erlangen-Nürnberg, pp. 1–171.
- GÁL J. (1997): Some biophysical applications of video polarimetry. – Diploma Thesis, Loránd Eötvös University, Department of Atomic Physics, Biophysics Group, Budapest, p. 96.

- HORVÁTH G. (1993): Computational Visual Optics. Theoretical Physiologic Optical Study of the Optical Environment and Visual System of Animals. – Kandidátusi Értekezés. Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutatóintézete, Biofizika Csoport (Budapest), pp. 1–256.
- HORVÁTH G. (1995): Reflection-polarization patterns at flat water surfaces and their relevance for insect polarization vision. – *J. Theor. Biol.* 175: 27–37.
- HORVÁTH G. & ZEIL J. (1996a): Kuwait oil lakes as insect traps. – *Nature* 379: 303–304.
- HORVÁTH G. & ZEIL J. (1996b): Állatcsapdák, avagy egy olajtócsa vizuális ökológiája. – *Természet Világa* 127: 114–119.
- HORVÁTH G. & POMÓZI I. (1997): How celestial polarization changes due to reflection from the deflector panels used in deflector loft and mirror experiments studying avian navigation. – *J. Theor. Biol.* 184: 291–300.
- HORVÁTH G. & VARJÚ D. (1997): 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. – *J. Exp. Biol.* 200: 1155–1163.
- HORVÁTH G., BERNÁTH B. & MOLNÁR G. (1998a): Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. – *Naturwissenschaften* 85: 292–297.
- HORVÁTH G., POMÓZI I. & GÁL J. (1998b): Videopolarimetria. – *Élet és Tudomány* 53: 756–757.
- KRISKA GY., HORVÁTH G. & ANDRIKOVICS S. (1998): Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. – *J. Exp. Biol.* 200: 2273–2286.
- POMÓZI I. (1997): Atlas of polarization patterns of some water-imitating shiny surfaces and their biological relevance. – Diploma Thesis, Loránd Eötvös University, Department of Atomic Physics, Biophysics Group, Budapest, p. 110.
- POPHAM E. J. (1964): The migration of aquatic bugs with special reference to the Corixidae (Hemiptera Heteroptera). – *Arch. Hydrobiol.* 60: 450–496.
- SAVOLAINEN E. (1978): Swarming in Ephemeroptera: the mechanism of swarming and the effects of illumination and weather. – *Ann. Zool. Fennici* 15: 17–52.
- SCHWIND R. (1985): Sehen unter und über Wasser, Sehen vom Wasser: Das Sehsystem eines Wasserinsektes. – *Naturwissenschaften* 72: 343–352.
- SCHWIND R. (1991): Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. – *J. Comp. Physiol. A* 169: 531–540.
- SCHWIND R. (1995): Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. – *J. Comp. Physiol. A* 177: 439–448.
- SCHWIND R. & HORVÁTH G. (1993): Reflection-polarization pattern at water surfaces and correction of a common representation of the polarization pattern of the sky. – *Naturwissenschaften* 80: 82–83.
- WILDERMUTH H. (1993): Habitat selection and oviposition site recognition by the dragonfly *Aeshna juncea* (L.): an experimental approach in natural habitats (Anisoptera, Aeshnidae). – *Odonatologica* 22: 27–44.
- WILDERMUTH H. (1998): Dragonflies recognize the water of rendezvous and oviposition sites by horizontally polarized light: A behavioural field test. – *Naturwissenschaften* 85: 297–302.
- WILDERMUTH H. & SPINNER W. (1991): Visual cues in oviposition site selection by the *Somatochlora arctica* (Zetterstedt) (Anisoptera: Corduliidae). – *Odonatologica* 20: 357–367.

Water detection of mayflies.

Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads?

GYÖRGY KRISKA & SÁNDOR ANDRIKOVICS

We report on dry asphalt roads acting as „mayfly traps”, that is, they lure swarming, mating and egg-laying mayflies in large numbers. To explain this surprising behaviour, we performed multiple-choice experiments with Ephemeroptera in the field, measured and compared the reflection-polarization characteristics of an asphalt road and a mountain creek from which mayflies emerge. We show here that Ephemeroptera can be deceived by and attracted to dry asphalt roads because of the strongly horizontally polarized light reflected from the surface. Asphalt surfaces can mimic a highly polarized water surface to Ephemeroptera. The darker and smoother the asphalt surface, the higher is the degree of polarization of reflected light and the more attractive is the road to mayflies. We show that mayflies detect water by means of polarotaxis, that is, on the basis of the partially and horizontally polarized reflected light. Asphalt roads are excellent markers for swarming Ephemeroptera because of their conspicuous elongated form, the sky above them is usually open, which is the prerequisite of mayfly mating, and the higher temperature of the asphalt prolongs the reproductive activity of mayflies. These additional factors enhance the attractiveness of asphalt roads to swarming mayflies. Thus, asphalt roads near ephemeropteran emergence sites (lakes, rivers and creeks) are a great danger for mayflies, because eggs laid on the asphalt inevitably perish. Asphalt roads can deceive and attract mayflies en masse like the ancient tar pits and asphalt seeps or the recent crude or waste oil lakes deceive, lure and trap polarization-sensitive water-seeking insects in large numbers.