

MTA Doktori Pályázat

MTA doktori értekezés tézisei

Vízirovarok polarizációérzékelése, poláros ökológiai csapdák

Kriska György PhD
az ELTE habilitált doktora

Budapest

2020

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Rudolf Schwind a Regensburgi Egyetem Állattani Intézet professzorának felfedezése (SCHWIND 1983a, b, 1984a, b, 1985a, b, 1989, 1991, 1995), miszerint a vízben és nedves anyagokban élő rovarok szeme képes érzékelni a fénypolarizációt és ezek a rovarok a vízfelszínről visszatükröződő vízszintes poláros fény segítségével találják meg életterüket felhívta a figyelmet arra, hogy az eddig alkalmazott módszerek nem elegendők a vizes élőhelyek komplex optikai jellemzésére. Például ahhoz, hogy egyes vízirovar taxonok szaporodási és kolonizációs viselkedését értelmezhesük, elengedhetetlen a vizes élőhelyek optikai környezetének fénypolarizációs feltárása és a vízirovarok polarotaktikus viselkedésének részletes tanulmányozása. E felismerés nyomán közel 20 éve alkalmazom és esetenként tovább is fejleszttem (MIZERA et al. 2001, EGRI et al. 2018) az optikai környezet polarizációs mintázatát feltáró képalkotó polarimetriát, valamint vizsgálom és értelmezem az egyes polarizációs mintázatok vízirovarokra gyakorolt hatásait. A kutatásaim megkezdése óta eltelt időben számos, nagyrészt az értekezésben is bemutatott eredményünk bizonyította, hogy a repülő polarotaktikus vízirovarok távérzékelésük során felhasználják a vizes élőhelyek vagy a vérszívó bögölyök esetében a gazdaállatok fénypolarizációs mintázatából eredő információkat, amelyek meghatározó jelentőségűek lehetnek szaporodási, kolonizációs és táplálkozási viselkedésükben. A vízi ugróvillás (*Podura aquatica* [Linnaeus, 1758]) foto- és polarotaxisának laboratóriumi vizsgálatával kapott eredményeink pedig új kapcsolatot tártak fel e kétféle ingermozgás térbeli orientációt együttesen meghatározó szerepéről (EGRI et al. 2017, EGRI és KRISKA 2019).

Az elmúlt 20 évben számos alkalommal igazoltuk, hogy egyes globálisan elterjedt, rohamosan növekvő felületű mesterséges objektumok (pl. aszfaltutak, üvegépületek, napelemek) optikai sajátásaik folytán jelentős mértékű vízirovar pusztulások okozói lehetnek, ezért az édesvizek biológiai sokféleségének megőrzése szempontjából is kitüntetett figyelmet kell fordítani az antropogén eredetű fénypolarizációs jelenségek és az általuk kiváltott polarotaktikus viselkedésformák feltárására. Kutatásaink úttörő jellegét mutatja, hogy több eredményünket (KRISKA et al. 1998, KRISKA et al. 2006a, HORVÁTH et al. 2010a, EGRI et al. 2012b), a Nature (MITCHELL 1998, Research Highlights – Ecology: Why horses wear white. 463/7283: 852, 18 February 2010) és a Science (LEE 2012, Random Samples: Great moments in entomology. Science 313/5783/7: 25, July 2006) is méltatta. Munkánk jelentős hatásának tartom, hogy eredményeink hozzájárultak az ökológiai csapda fogalmának meghatározásához (KOKKO és SUTHERLAND 2001, SCHLAEPFER et al. 2002, ROBERTSON és HUTTO 2006) és lehetőséget adtak arra, hogy leírjuk az ökológiai fényszennyezés egy új típusát a poláros fényszennyezést (HORVÁTH et al. 2009).

Jelen összefoglalás *első részében* azokat a kutatásaimat mutatom be, amelyek a polarotaxis kimutatását, jellemzőinek és biológiai szerepének vizsgálatát tűzték ki célul különböző vízirovar taxonoknál. Itt ismertetem a kérészek (Ephemeroptera), az árvaszúnyogok (Chironomidae) és a bögölyök (Tabanidae) polarotaxisával valamint több taxon polarotaxis polarizációfok ingerküszöbének vizsgálatával kapcsolatos eredményeimet. Az összefoglaló *második felében* pedig azokat a kutatásaimat ismertetem, amelyek a mesterséges poláros fényforrások és polarizációs mintázatok vízirovarokra gyakorolt hatásának vizsgálatát tűzték ki célul. Itt mutatom be a különböző színárnyalatú gépkocsik, a pernyemezők, a folyóparti üvegépületek, a fényes fekete sírkövek és a hidak polarotaktikus vízirovarokra gyakorolt hatásait. E helyen ismertetem az előbb felsorolt, valamint más az értekezésben részletesen nem kifejtett kutatások egyfajta szintéziseként a poláros fényszennyezést, mint a környezeti ártalmak egy újonnan felismert formáját.

2. EREDMÉNYEK

2.1. POLAROTAXIS KIMUTATÁSA, JELLEMZŐINEK ÉS BIOLÓGIAI SZEREPÉNEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ VÍZIROVAR TAXONOKNÁL

2.1.1. A TISZAVIRÁG (*PALINGENIA LONGICAUDA*) POLAROTAKTIKUS VISELKEDÉSE

A tiszavirág (*Palingenia longicauda* [Olivier 1791]) imágók rajzásuk során a Tisza fölött repülnek. Mivel rajzáskor vízszintes irányban nem távolodnak el jelentősebb mértékben a víztől, a repülő egyedeknek a sikeres szaporodáshoz nincsen feltétlenül szükségük a víz fénypolarizáción alapuló érzékelésére. Mindezek alapján fölmerül a kérdés, hogy a pataklakó kérészfajokhoz hasonlóan a *P. longicauda* is rendelkezik-e polarotaxissal. A kérdés megválaszolása érdekében terepkísérleteket végeztünk a tiszavirág rövid rajzási periódusa alatt. A terepkísérletben használt különböző polarizációs sajátságú tesztfelületek fölött a *P. longicauda* két, egymástól jelentősen különböző repülési viselkedését sikerült megfigyelnünk. Az egyik a vízkereső, a másik pedig a vízfelszín fölött kialakuló, vízkövető repülés volt. A vízkereső repülés megkezdésekor a rovarok egyenes vonalban vagy egy nagyobb ív mentén, akár 15–30 m-es magasságig emelkedve repülnek, majd nagy magasságban szállnak mindaddig, amíg nem érzékelnek egy nagyobb kiterjedésű, vízszintesen polarizáló felületet, ami kiváltja a vízkövető repülést. Ez utóbbi viselkedést alacsony repülési magasság (10–50 cm) és cikk-cakkos, a vízfelszín fölötti, vagy esetünkben a fólia egyik szélétől a másikig haladó röppálya jellemzi.

A nagyméretű, vízszintesen poláros fényt visszaverő felület érzékelése mind a hím, mind pedig a nőstény imágók esetében nagy jelentőséggel bírhat az állatok repülésének irányításában. A hím szubimágóknál ez biztosítja az imágóvá vedlést követően a folyó sodorvonalához való visszatérést, a nőstényt kereső hím egyedeknél pedig lehetővé teszi, hogy a folyóba torkolló kisebb csatornák és ártéri állóvizek által megtévesztett állatok visszatérhessenek a folyó fölé, vagy megakadályozza, hogy e mellékvizek rossz irányba vezessék az állatokat. A nőstény tiszavirágoknál elsősorban a kompenzációs repülés során fontos a folyó nagy kiterjedésű és vízszintesen polarizáló felülete, ami a nagyobb magasságban repülő kérésznőstények számára is biztos támpontot jelent a folyásiránnyal szembeni, néhány kilométeres kompenzációs repülés során.

Összefoglalva megállapítható, hogy a tiszavirág rajzásakor két viselkedésforma (vízkövető és vízkereső repülés) jellemző az állatokra, melyek kiváltásában az erősen és vízszintesen poláros, megfelelően nagy kiterjedésű felület megléte vagy hiánya jelenti a kulcsingert (KRISKA et al. 2007).

2.1.2. POLAROTAXIS AZ ÁRVASZÚNYOGOKNÁL

Különböző optikai sajátságú tesztfelületek alkalmazásával sikerült igazolnunk több árvaszúnyog taxon esetében a pozitív polarotaxis meglétét. Kísérleteinkben a nőstény árvaszúnyogok gyakorlatilag csak a fekete folyadékcspadához vonzódtak, ami erősen és vízszintesen poláros fényt tükrözött Brewster-szögben. Mindezek alapján megállapítható, hogy a vizsgált árvaszúnyogfajok nőstényei, más vízirovarokhoz hasonlóan, pozitív polarotaxissal rendelkeznek.

Eredményeink szerint az árvaszúnyogoknál általánosnak tekinthető a polarotaxis. Az ismert polarotaktikus árvaszúnyogfajok száma háromról (LERNER et al. 2008, 2011, MELTSER et al. 2008) több mint a duplájára nőtt kutatásunk eredményeként (HORVÁTH et al. 2011).

2.1.3. BÖGÖLYÖK POLAROTAKTIKUS VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA

2.1.3.1. POLAROTAXIS KÍSÉRLETI BIZONYÍTÁSA BÖGÖLYÖKNÉL: A POLARIZÁCIÓLÁTÁS LEHETSÉGES SZEREPE A BÖGÖLYÖK SZAPORODÁSI ÉS TÁPLÁLKOZÁSI VISELKEDÉSÉBEN

Vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy a bögölyök érzékelik-e és ha igen szemüknek melyik részével a poláros fényt. Kísérleteink során bebizonyítottuk, hogy a bögölyök szemének ventrális része érzékeli a vízszintesen poláros fényt, de az összetett szem frontális, laterális és dorzális része nem érzékeny a lineárisan poláros fényre. Ennek oka az, hogy a természetben vízszintesen poláros fényt kizárólag vízfelszínnek vernek vissza, amit a bögölyök a szemük ventrális régiójában elhelyezkedő ommatídiumokkal érzékelnek.

Korábban már több, vízbe tojástartó rovarcsoportról kiderült, hogy egyes fajaik vízdetekciója a vízfelszínről visszavert vízszintesen poláros fény érzékelésén alapszik (KRISKA et al. 1998, HORVÁTH és VARJÚ 2004). Míg azonban a vízbogarak, vízipoloskák, tegzesek, kérészek és szitakötők polarotaktikusan a víztestet keresik, hogy tojástartat közvetlenül abba rakják, addig a bögölyök nem ebből a célból kutatják polarizációlátásukkal a vizeket, hanem például azért, hogy a vízfelszín megtalálása után fölleljék a tojástartásra alkalmas vízparti növényeket és köveket, ahonnan a lárvák kikelésük után esnek/másznak a vízbe. Kutatásaink alapján a polarizációlátásra épülő forráskeresésnek két formája különböztethető meg: (1) A forrás (pl. vízi tojástartó hely) pozitív polarotaxissal közvetlenül megtalálható. Ez a helyzet számos vízirovarnál, melyek közvetlenül a vízbe rakják tojástartat. (2) A forrás (pl. vízparti tojástartó hely vagy gazdaállat) közvetett módon található meg polarotaxissal. A nőstény bögölyök először a vizet észleli távolról, majd a vízparti tojástartó helyet vagy az itatónál megjelenő gazdaállatokat találják meg. A hím bögölyök polarotaktikus vízdetekciója ugyancsak előnyös lehet, mert ők a polarotaxissal a vízhez odavonzott nőstényekkel találkozhatnak és párosodhatnak.

A vérszívó rovarok közül a bögölyök az első, melyeknél sikerült kimutatni a pozitív polarotaxist, ami lehetőséget nyújt olyan optikai alapon működő, új rovarcsapdák kifejlesztésére, amelyek a fény erős és vízszintes lineáris polarizációja révén fejtik ki jelentős vonzó és csapdázó hatásukat (HORVÁTH et al. 2008, KRISKA et al. 2008a, EGRI et al. 2013).

2.1.3.2. A GAZDA KÜLTAKARÓ OPTIKAI SAJÁTSÁGAINAK HATÁSA A BÖGÖLYÖK GAZDAVÁLASZTÁSÁRA

A bögölyökkel Szokolyán 2008 nyarán folytatott terepkísérletünk során véletlenül sikerült megfigyelnem egy szabadtéri karámban, hogy a sötétbarna színezetű lovakat a bögölyök jól láthatóan sokkal nagyobb számban támadják, mint a fehéréket. Ez a megfigyelés vetette fel annak a vizsgálatnak a létjogosultságát, amely a lovak kültakarójának optikai sajátosságait vizsgálja a bögölyökvonzóképeség tekintetében.

A kutatás eredményeként sikerült bizonyítani, hogy a fehér lovak a bögölyök számára kevésbé vonzóak, mint a sötétebb színűek. Kísérletekkel és képalkotó polarimetriai vizsgálatokkal sikerült alátámasztani azt, hogy e jelenség a testfelület fénypolarizáló képességével és a bögölyöknél általunk fölfedezett pozitív polarotaxissal (HORVÁTH et al. 2008) magyarázható. A lovasok, valamint a lovak és más haszonállatok tartói számára is fontos eredményeket (HORVÁTH et al. 2010a) számos más nyomtatott és elektronikus médium mellett a Nature (Research Highlights – Ecology: Why horses wear white vol. 463/7283: 852, doi:10.1038/463852b) is méltatta.

A témához kapcsolódva egy további kutatás során sikerült bizonyítanunk, hogy a bögölyök polarotaktikus gazdatekciója során a poláros jel a polarizáció iránytól függetlenül is képes kiváltani a bögölyök vonzását (EGRI et al. 2012a). Tehát sikerült fölfedeznünk a bögölyök

esetében egy újfajta polarotaxist, ami eltér a korábban leírt polarotaktikus vízdetekciótól (HORVÁTH et al. 2008), amelynek kiváltó ingere csak a vízszintesen poláros fény lehet. További a bőgölyökkel kapcsolatos kutatásaink eredményeként igazoltuk a csíkos és foltos mintázatú kültakaró és emberi bőr bőgölytaszító hatását is (EGRI et al. 2012b, BLAHÓ et al. 2012a, HORVÁTH et al. 2019). A tapasztalt jelenség egyértelműen a bőgölyök polarotaktikus gazdadetekciójához volt köthető, mert a bőgölytaszító hatás megjelent a fényintenzitás tekintetében homogén ugyanakkor a polarizációirány mintázat vonatkozásában inhomogén tesztfelületek esetében is. Kutatásaink szerint a kültakaró inhomogén polarizációs mintázatának kiemelt szerepe van a bőgölytaszító hatás elérésében, amely akkor is képes kifejteni a hatását, ha bőgölyöket vonzó kémiai anyagok (pl. ammónia, szén-dioxid) vannak jelen (BLAHÓ et al. 2013).

2.1.4. A POLAROTAXIS POLARIZÁCIÓFOK INGERKÜSZÖBÉNEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ VÍZIROVAR TAXONOKNÁL

Egy víztest fényessége (a vízből érkező fény intenzitása) nem érzékelhető a vízfelszínhez viszonyított alacsony látószög esetében, mert a vízből érkező fényt elnyomja a vízfelszínről tükröződő fény. Eképpen a víztestek világosságának távérzékelésében a vízből érkező fény p polarizációfokának lehet jelentősége. A fénypolarizáló mesterséges tárgyak vízirovarokra kifejtett hatásának mértéke függ a tárgyfelület érdességétől, megvilágításától, a megfigyelés irányától és az adott vízirovarfaj p^* polarizációs ingerküszöbétől. A fajspecifikus és hullámhosszfüggő p^* a p lineáris polarizációfok azon minimális értékét jelenti, ami még képes pozitív polarotaxist kiváltani.

Kutatásunk fő célkitűzése az volt, hogy kísérleti alapon szolgáltatassunk adatokat a szitakötők, a kérészek és a bőgölyök p^* értékeiről. A spektrum vörös, zöld és kék tartományában elvégzett képalkotó polarimetriai mérésekkel és választásos terepkísérletekkel sikerült kimérni olyan szitakötők, kérészek és bőgölyök ventrális szemrészének p^* értékét (KRISKA et al. 2009), amelyek pozitív polarotaxisának igazolása már korábban megtörtént (kérészek: KRISKA et al. 1998, 2007, szitakötők: WILDERMUTH 1998, HORVÁTH et al. 1998, 2007, BERNÁTH et al. 2002, bőgölyök: HORVÁTH et al. 2008). A vízirovarok p^* értékeinek ismerete lehetőséget ad arra, hogy az ember alkotta optikai környezetben mérjük és monitorozzuk azokat a mesterséges felületeket, amelyek vízszintesen poláros fényt visszaverve megtéveszthetik a vizet kereső különböző vízirovar fajokat.

2.1.5. A KÉRESZK SZÁMÁRA KEDVEZŐTLEN ÉLŐHELYEK ELKERÜLÉSE POLAROTAKTIKUS VISELKEDÉS RÉVÉN

A víz fölött rajzó kérészfajok, mint például az *Ephoron virgo* [Olivier 1791] és a *Palingenia longicauda* esetében a pozitív polarotaxisnak meghatározó szerepe van abban, hogy rajzás közben e rovarok végig a vízfelszín fölött repüljenek (KRISKA et al. 2007, MÁLNÁS et al. 2011, SZÁZ et al. 2015, FARKAS et al. 2016). A kérészfajok egy része rajzáskor több mint egy kilométerre is eltávolodhat a víztől (BRODSKIY 1973), náluk a pozitív polarotaxis segítheti a nőstények visszatérését a vízhez, ahol lerakhatják tojáscsomóikat.

Az előzmények nyomán fölmerülhet a kérdés, hogy a függőlegesen poláros fény gyakorol-e valamilyen hatást a kérészek rajzási viselkedésére? A főnti kérdés megválaszolása érdekében öt terepkísérletben vizsgáltuk az *E. virgo* és *Caenis robusta* [Eaton 1884] viselkedését vízszintesen és függőlegesen poláros, valamint polarizálatlan fényt kibocsátó lámpákkal.

Az eredmények arról tanúskodnak, hogy a két vizsgált kérészfaj egyedei kevésbé vonzódnak a függőlegesen poláros fényhez, mint a polarizálatlanhoz. A különbség a vízszintesen poláros és a függőlegesen poláros fény között még kifejezettebb: az előbbi sokkal vonzóbb, mint az utóbbi. E viselkedés jelentősége abban áll, hogy a kérészek vízfelszíni repülésükkor visszafordulnak azon felszínrészekről, amelyek függőlegesen vagy nem vízszintesen poláros

fényt tükröznek, így jelezve a kérészek rajzása és tojásrakása szempontjából alkalmatlan partrészeket. Egy különleges következménye e viselkedésnek a kompenzációs repülésben részt vevő kérészek visszafordulása a hidaknál, ahol a híd vízre vetülő árnyékánál és tükröképénél gyakran függőlegesen poláros fény tükröződik (MÁLNÁS et al. 2011).

A dunavirág és *C. robusta* fajok esetében a függőlegesen poláros fény minimális vonzásának oka és egyben jelentősége abban rejlik, hogy a vízparti növényzet árnyéka és tükröképe a vízfelszín szélén gyengén ($p < 25\%$) és nem vízszintesen poláros. (FARKAS et al. 2016). A vízpartokon gyakran kialakul egy vízszintes sötét iszapos sáv, amely általában vízszintesen poláros fényt reflektálva vízfelszín utánózik a polarotaktikus vízirovarok számára. Ha a vízfelszín szélén nem alakulna ki a vízparti növényzet függőlegesen poláros árnyéka és tükröképe, ami távol tartja a kérésznöstényeket az iszapfelszíntől, akkor azok lerakhatnák tojáscsomóikat a lárvák kifejlődésére alkalmatlan területre.

A folyóakó kérészek kolonizációjában fontos szerepe lehet a pozitív polarotaxisnak, ami a folyó és mellékfolyó vízszintesen poláros jele alapján vezeti a kérésznöstényeket az alkalmas élőhelyekre. Másrésről a folyóba torkolló kisebb csatornák és ártéri kisvizek alkalmatlan helyei lehetnek a lárvák kifejlődésének, ezért kifejezetten előnyös lehet, hogy az ezek kisebb mérete miatt a vízfelszínen kialakuló teljes vagy majdnem teljes árnyékoltság és a növényzet tükröződése miatt kialakuló, nem vízszintes polarizáció távoltartja a kérésznöstényeket.

2.2. MESTERSÉGES POLÁROS FÉNYFORRÁSOK ÉS POLARIZÁCIÓS MINTÁZATOK HATÁSA VÍZIROVAROKRA

2.2.1. KÜLÖNBÖZŐ SZÍNÁRNYALATÚ GÉPKOCSIK POLAROTAKTIKUS VÍZIROVAROKRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Saját terepi tapasztalataim és irodalmi adatok is arra utaltak, hogy a gépkocsik vízszintes, sötét színárnyalatú karosszéria elemei és a ferde szélvédők vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat (WYNIGER 1955, SVIHLA 1961, WATSON 1992, WILDERMUTH 1998, STEVANI et al. 2000a, b, BERNÁTH et al. 2001a, GÜNTHER 2003, TORRALBA és OCHARAN 2003, WILDERMUTH és HORVÁTH 2005), aminek feltételezhetően az áll a háttérben, hogy ezek a részek vízszintesen poláros fényt tükröztek. Mindezek nyomán a kutatás alapvető célkitűzése az volt, hogy választ kapjunk arra a kérdésre, hogy miért vonzódnak a vízirovarok a piros színű és más sötét színárnyalatú gépkocsikhoz.

Kutatásainkkal bizonyítottuk, hogy a gépkocsik vonzó hatásának háttérben a rovarok fénypolarizáció-érzékelésen alapuló vízkeresése áll (KRISKA et al. 2006a). A sötét színű, különösen a fekete és piros gépkocsik fényes felületéről erősen és vízszintesen poláros fény verődik vissza, amely a vizet kereső polarotaktikus rovarok számára vizet jelez. Ez az oka annak, hogy a repülő rovarok rászállnak a gépkocsik karosszériájára, és gyakran a tojásaikat is a víz helyett erre a felületre rakják le. A fejlődésükben a vízhez kötődő rovarok elsősorban a vizes élőhelyek közelében repülnek nagy számban, ezért a piros és fekete gépkocsik ezeken a területeken jelenthetik rájuk a legnagyobb veszélyt.

2.2.2. PERNYEMEZŐK HATÁSA POLAROTAKTIKUS VÍZIROVAROKRA

Minden erősen és vízszintesen polarizáló természetes vagy mesterséges felület vonzza a repülő, vízkereső rovarokat, amelyek a vizet pozitív polarotaxissal találják meg (HORVÁTH és VARJÚ 2004, HORVÁTH és KRISKA 2008). Ezek alapján logikus volt a feltevés, hogy az erősen polarizáló fekete pernyemezők szintén vonzóak lehetnek a repülő polarotaktikus vízirovarok számára. Azonban terepen ennek az ellenkezőjét tapasztaltuk, mégpedig azt, hogy a fekete hamuval borított föld egyáltalán nem vonzó a vízirovarok számára a visszavert fény magas lineáris polarizációfoka ellenére sem. Kutatásunk során megállapítottuk, hogy ezt a tapasztalatot a hamurétegről visszavert fény polarizációirány mintázatának sajátágaival lehet

magyarázni: A pernyemező hamurétege durva felszínű a megperzselt szalmaszálak véletlenszerű irányulása miatt. Minden érdes felszínre jellemző, hogy a róla visszavert fény polarizációiránya mindig merőleges a visszaverődés síkjára (KÖNNEN 1985, HORVÁTH és VARJÚ 2004). A napfénnel megvilágított pernyemezőknél a visszaverődés síkja átmegy a megfigyelőn, a Napon és a hamuréteg megfigyelt pontján. A visszaverődés síkja függőleges a szoláris meridián (SM) és az antiszoláris meridián (ASM) irányában, és ferde bármely más megfigyelési irányban. Ez a magyarázata azon eredményünknek, miszerint a pernyemezőkről visszavert fény átlagos polarizációs iránya közel vízszintes a SM és az ASM irányokban, és ferde bármely más megfigyelési irányban. A hamuról visszavert fény polarizációirányának nagy szórása a megperzselt szalmaszálak véletlenszerű irányával magyarázható.

Ezért tehát, bár a fekete pernyemezők erősen lineárisan polárosak, a szoláris és antiszoláris meridián irányától eltekintve a róluk visszaverődő fény átlagos polarizációiránya nem vízszintes és a polarizációirány szórása mindig nagy (KRISKA et al. 2006b). Következésképpen az általában nem vízszintesen poláros fekete pernyemezők nem vonzóak a polarotaktikus vízirovarok számára, melyeket csak a közel vízszintesen poláros fény vonz.

2.2.3. FOLYÓPARTI ÜVEGÉPÜLETEK HYDROPSYCHE PELLUCIDULA IMÁGÓKRA GYAKOROLT HATÁSA

Kutatásaink során a dunai tömegtegzes (*Hydropsyche pellucidula* [CURTIS 1834]) üvegezett falú épületek melletti szaporodási viselkedését tanulmányoztuk a budapesti Dunaparton. A legintenzívebb rajzási időszakban számoltuk az épület fényes fekete és fehér függőleges üvegtábláin tartózkodó tegzesek számát és a tömegtegzesek polarotaxisának vizsgálatára választásos laboratóriumi kísérleteket végeztünk. A tesztfelületek, az épület és ez utóbbi függőleges üvegfelületei fénypolarizálóképességét képalkotó polarimetriával mértük a spektrum vörös, zöld és kék tartományában.

Laboratóriumi kísérletekkel sikerült igazolnunk, hogy a nőstény *H. pellucidula* egyedek tojásrakásukkor előnyben részesítik az erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző tesztfelületeket a csak gyengén és nem vízszintesen poláros fényt visszaverő tesztfelületekkel szemben. Ebből egyértelműen következik a tegzesek pozitív polarotaxisa (KRISKA et al. 2008b).

Képalkotó polarimetriai vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az üvegfelületekkel fedett függőleges épületfalaknak mindig vannak olyan részei, melyek a röpködő polarotaktikus *H. pellucidula* egyedek számára vonzó polarizációjú fényt tükröznek. Ezzel magyarázható, hogy a Dunából kirepülő tegzesek előbb-utóbb a dunaparti épületek függőleges üvegfelületeihez vonzódnak, s ott folytatják a rajzásukat a napállás és az égbolt felhőzöttségétől függetlenül. Másrészt, pedig miután e tegzesek leszálltak a függőleges üvegfelületekre, azok jó része megint a számukra vonzó polarizációjú fényt ver vissza, ami a többi érzékszervük által szolgáltatott jelzéseket elnyomva szupernormális ingerként vizet utánozva ott marasztalja őket (MALIK et al. 2008).

Az állatok egyes mesterséges ingerek hatására kialakuló ökológiai csapdák hatására olyan torz viselkedésmintákat követnek, melyek a populációik hanyatlásához, vagy akár kipusztulásához is vezethetnek (BATTIN 2004, KOKKO és SUTHERLAND 2001, SCHLAEPFER et al. 2002). Erre láthattunk példát a *H. pellucidula* folyóparti üvegépületeknél történő tömegrajzása esetén is.

2.2.4. TEMETŐBEN VIZET KERESŐ POLAROTAKTIKUS SYMPETRUM SZITAKÖTŐK VISELKEDÉSE A FÉNYT POLARIZÁLÓ FEKETE SÍRKÖVEKNÉL

A szitakötők vizeknél fellépő természetes viselkedése egyes antropogén eredetű, optikai tulajdonságaival vizet utánzó felületeknél (például fekete agrofóliáknál, nyíltfelszínű olajtározóknál és sötét színű gépkocsiknál) is megjelenik (WILDERMUTH és SPINNER 1991,

WILDERMUTH 1993, 1998, HORVÁTH és ZEIL 1996, HORVÁTH et al. 1998, BERNÁTH et al. 2001a, WILDERMUTH és HORVÁTH 2005). Ugyanezt tapasztaltuk a kiskunhalasi református ótemetőben: a *Sympetrum* nem számos szitakötőfajának egyedei nagy számban vonzódnak a temető fekete, polírozott sírköveinek vízszintes felületeihez, ahol pontosan olyan viselkedést mutatnak, mint a vizeknél.

Korábbi kutatások kimutatták, hogy egyes szitakötők polarotaktikusak, azaz a vizet a felszínéről tükröződő vízszintesen poláros fény alapján ismerik föl (HORVÁTH et al. 1998, WILDERMUTH 1998). Ennek alapján feltételeztük, hogy a temetői szitakötők különös viselkedésében is fontos szerepe lehet a fekete sírkövek fénypolarizációs sajátosságainak, valamint e rovarok polarizációlátásának. Ezért hipotézisünk bizonyítása érdekében képalkotó polarimetriával mértük a sírkövek tükröződési-polarizációs mintázatait, és választásos terepkísérletekkel igazoltuk azt, hogy a fekete sírkövekhez vonzódó *Sympetrum* szitakötők is pozitív polarotaxissal rendelkeznek (HORVÁTH et al. 2007).

A képalkotó polarimetriai mérések igazolták, hogy a fényes fekete, hozzátévelegesen vízszintes felületű sírkövek a környezetükkel és más sírkövekkel ellentétben erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek (HORVÁTH et al. 2007).

A szitakötőket vonzó sírkövek hatására megvalósulhatnak egy ökológiai csapda kialakulásának feltételei (SCHLAEPFER et al. 2002), mivel optikai sajátágaik folytán megakadályozhatják a szitakötők utódgenerációjának kifejlődését: Megtévesztik a tojásrakáshoz készülő szitakötő nőstényeket, melyek így a sírkövekre rakják le a tojásaikat. A tojások a szárazon rövid idő alatt kiszáradnak és elpusztulnak.

2.2.5. A TISZAVIRÁG ÉS A DUNAVIRÁG RAJZÁSI VISELKEDÉSÉNEK MÓDOSULÁSA A KÖRNYEZET TERMÉSZETES POLARIZÁCIÓS MINTÁZATÁNAK MEGVÁLTOZÁSÁRA

2.2.5.1. A TIVADARI TISZA-HÍD HATÁSA A TISZAVIRÁG (*PALINGEMIA LONGICAUDA*) KOMPENZÁCIÓS REPÜLÉSÉRE

A kutatás alapját az a megfigyelés adta, miszerint a tivadari Tiszahídnál a tiszavirág (*Palingenia longicauda*) nőstények vízfolyással szembeni kompenzációs repülését megállította a híd, ezért a tojásrakás közvetlenül a híd előtt következett be. A repülő nőstények nem a híd mechanikai hatása miatt álltak meg, mert még azelőtt megszakították tovahaladó repülésüket, mielőtt fizikai kontaktusba kerültek volna a híddal. Mivel a tiszavirággal folytatott korábbi kutatásainkkal igazoltuk, hogy a nőstények vízfolyással szembeni kompenzációs repülését a folyófelszín vízszintesen poláros jele irányítja (KRISKA et al. 2007), logikusnak tűnt az a feltételezés, hogy az ingermozgás megállítását a vezérlő polarizációs jel híd általi megváltozása, eltűnése okozhatja. Ezt a feltételezést támasztotta alá az a tény is, hogy a kompenzációs repülés folytatásának nem volt mechanikai akadálya, hiszen a kérészek a híd alatt, vagy afölött átrepülve is folytathatták volna előrehaladásukat, mindezt azonban csak az egyedek igen kis hányada tette meg. A tiszavirág (*P. longicauda*) tivadari Tisza-hídnál tapasztalt különleges viselkedésének okát a jelenség részletes dokumentálásával, valamint a környezet polarizációs mintázatainak kimérésével és kiértékelésével tártuk fel.

A polarizációs mintázatok kiértékelése alapján megállapítható volt, hogy a vízfelszín mérsékelten és vízszintesen poláros égboltfényt és napfényt reflektál. Ez a két hatás egy polarizációs csatornát képez, amely szűkebb, mint a folyó teljes szélessége és irányítja a hímek vízkövető- valamint a nőstények kompenzációs repülését (KRISKA et al. 2007). Ezzel szemben a folyóparti növényzettel árnyékolt vízfelszín alacsony polarizációfokú függőlegesen poláros fényt ver vissza. A híd szürke betonelemei és zöld fémszerkezete gyakorlatilag polarizálatlan fényt tükröz. A vízfelszínről a híd árnyékában szintén polarizálatlan fény érkezik. A polarizálatlan fényt tükröző felületek megszakítják a folyó korábban folytonos polarizációs csatornáját, amely a kérészek mozgását irányítja. Ez végsősoron megzavarja a

tiszavirág nőstények kompenzációs repülését, amelyek többsége nem képes továbbhaladni a híd alatt, vagy fölött a folyó középvezetét követve.

Kutatásaink eredményeként igazoltuk, hogy a hidak optikai gátat (barriert) jelentenek a *P. longicauda* kérészek számára, amely akadályt jelenthet a faj kolonizációjának és a populáció ivararányának megváltozását okozhatja (MÁLNÁS et al. 2011).

2.2.5.2. A DUNAVIRÁG (*EPHORON VIRGO*) FOTO- ÉS POLAROTAXISÁN ALAPULÓ KOMPLEX ÖKOLÓGIAI CSAPDA

A dunavirág (*Ephoron virgo*) tömegrajzása közel 40 év óta először 2012-ben jelent meg a budapesti Dunaszakaszon, ami együttjárt a kivilágított hidakon a védett kérészfaj tömeges pusztulásával. A jelentős természetvédelmi kárt okozó jelenség vizuális ökológiai hátterének feltárására és a dunavirág polarizációérzékelésének megismerésére helyszíni megfigyeléseket, választásos terepkísérleteket és képalkotó polarimetriai méréseket végeztünk.

A dunavirág sötétedés utáni rajzásakor az első nimfa - imágó átalakulások után 30-60 perccel a nőstények laza szerkezetű rajokba szerveződve megkezdik kompenzációs repülésüket a Duna középvezete fölött a folyásiránnyal szemben. Mozgásuk során természetes viszonyok között a dunavirágok nem közelítik meg a partot, ugyanakkor a parton lévő mesterséges fényforrások erőteljesen vonzzák őket, így elhagyva a folyó középvezetét a partra repülnek és az ottani lámpák körül rajzanak a pusztulásukig. A kérészek e reakcióját pozitív fototaxisuk okozhatja, amit akár egy gyengébb fényű kézilámpával is ki lehet váltani.

A dunavirághoz hasonló életmódot folytató és vele azonos élőhelyen is élő tiszavirág (*Palingenia longicauda*) esetében a nőstények kompenzációs repülésének a folyófelszín vízszintesen poláros jele általi polarotaktikus vezérlését korábban már igazoltuk (KRISKA et al. 2007, MÁLNÁS et al. 2011). Mindezek alapján feltételezhető, hogy a dunavirág víz fölötti rajzásában és folyó fölötti kompenzációs repülésének irányításában is fontos szerepe van a pozitív polarotaxisnak. A kompenzációs repülést végző nőstény dunavirág egyedek útjába eső intenzív mesterséges fényforrások a vízfelület által kiváltott pozitív polarotaxist elnyomva magukhoz vonzották e rovarokat. Ugyanakkor e fototaxis nem nyomta el teljesen a vízfelszínről visszavert vízszintesen poláros fény által a dunavirágokban kiváltott polarotaxist, mert csak a folyó közeli/fölötti mesterséges fényforrások vonzották magukhoz tömegesen a kérészeket. A hídon futó, s a lámpák fénye által megvilágított aszfaltútra tojást rakó nagyszámú nőstény jelentős hányada nem a lámpák fénykörében szállt le, hanem távol attól. Ezekre nyilván nem a fototaxis hatott, hanem aktívan szálltak az út kisebb fényintenzitású, de erősen és vízszintesen poláros fényt visszaverő részeire. Ily módon tehát a dunavirág hídnál megfigyelt tömegrajzásában a domináns fototaxis mellett fontos szerepet játszott az alárendelt polarotaxis is. A pozitív fototaxis eredményezte a kérészek hídlámpákhoz való tömeges vonzódását, míg a pozitív polarotaxis pedig az aszfaltútra leszállást és tojásrakást, ami egy foto- és polarotaktikus ökológiai csapda kialakulását eredményezte.

A naplemente környékén, de még világosban rajzó tiszavirág (MÁLNÁS et al. 2011) és az éjjel rajzó dunavirág hidaknál tapasztalt viselkedését összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy mindkét kérészfaj esetében egy híd megállítja a nőstények kompenzációs repülését, ugyanakkor a feltorlódott kérésztömeg a tiszavirág esetében a híd előtti folyószakasz fölött, míg a dunavirágnál a híd fölött alakul ki. Ily módon a híd előtt feltorlódó tiszavirág nőstények végül a vízbe hullva a vízbe rakják tojásaikat, míg a dunavirágnak a hídlámpák fénycsapdájába került nőstényei a tojásaikkal együtt a híd aszfaltútjára hullanak. A tojáscsomók kiszáradás miatti elpusztulásával az utódgeneráció is károsodik, így a dunavirág foto- és polarotaxisán alapuló ökológiai csapda alakul ki.

Vízszintesen poláros és polarizálatlan fényforrásokkal folytatott kísérleteink során sikerült kimutatnunk, hogy a vízszintesen poláros fény szignifikánsan, általában egy nagyságrenddel több a kompenzációs repülésben résztvevő nőstény kérészt vonz, mint a polarizálatlan fényű fényforrás. Ennek az lehet a magyarázata, hogy bár mindkét fényforrás képes volt pozitív

fototaxisal magához vonzani a kompenzációs repülésben résztvevő rovarokat a vízszintesen poláros fény a pozitív fototaxis mellett pozitív polarotaxist is kiváltott miáltal sokkal több kérészt tudott magához vonzani (SZÁZ et al. 2015).

A dunavirág egyedek tömeges pusztulása a természetvédelmi károkozás mellett veszélyes helyzetek kialakulását is okozhatja. A kérésztömeg megjelenése miatt romlanak a látási viszonyok a hidak útjain, miközben a rovartetemek miatt csúszóssá, balesetveszélyessé válnak az aszfalt útburkolatok. Közegészségügyi szempontból pedig az elpusztult kérészeket fogyasztó patkányok megjelenése jelenthet veszélyt. Mindezek alapján megállapítható, hogy több ok miatt is fontos csökkenteni a kialakult ökológiai csapda károkozását.

A fentiekben ismertetett kettős hatáson alapuló ökológiai csapda káros hatásainak mérséklésére kérészvédő fénysorompót fejlesztettünk ki (EGRI et al. 2017), melynek első példánya 2019. április 24-én került felszerelésre a tahitótfalui Tildy Zoltán Kis-Duna hídra.

2.2.6. A POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS A KÖRNYEZET ÁRTALMAK EGY ÚJ FAJTÁJA

Az elmúlt húsz évben végzett vizuális-ökológiai és környezetbiofizikai kutatásokra (HORVÁTH és ZEIL 1996, HORVÁTH et al. 1998, KRISKA et al. 1998, HORVÁTH és VARJÚ 2004, WILDERMUTH és HORVÁTH 2005, CSABAI et al. 2006, KRISKA et al. 2006a, 2006b, HORVÁTH et al. 2007, HORVÁTH és KRISKA 2008, KRISKA et al. 2008b, MALIK et al. 2008) alapozva mutattunk rá az ökológiai fényszennyezés (ÖF) egy új formájára, a poláros fényszennyezésre (PF). PF alatt szűkebb értelemben a sima (fényes) mesterséges felületekről visszaverődő, erősen és vízszintesen poláros fénynek a polarotaktikus vízirovarokra (beleértve minden rovar, melynek lárvái a vízben fejlődnek) kifejtett káros hatásait értjük.

A poláros fényszennyezés (PF) fizikai (1), viselkedési (2) és ökológiai (3) alapjai a következők: az Umow-szabály szerint, minél sötétebb egy felület a spektrum adott tartományában, annál nagyobb a róla visszaverődő fény lineáris polarizációfoka. Mivel a durva (matt) felületekről való visszaverődés depolarizációt eredményez, ezért minél simább egy felület, annál polárosabb a visszavert fény. Mivel a sima felszínű nem-fémes anyagokról visszavert fény polarizációiránya mindig merőleges a visszaverődés síkjára, ezért ha e sík pontosan vagy közel függőleges, akkor a visszavert fény pontosan vagy közel vízszintesen poláros. Mindebből következik:

1) Függőleges visszaverődési sík mellett a sima és fekete felületek erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek.

Minél polárosabb a fény és minél kevésbé tér el polarizációiránya a vízszintestől, annál vonzóbb a polarotaktikus vízirovaroknak.

Következésképpen:

2) Pontosán/közel függőleges visszaverődési sík esetén a sima és fekete felületek többé/kevésbé vonzóak a polarotaktikus rovarok számára.

Az erősen és vízszintesen polarizáló száraz felületekhez vonzott vízirovarok kiszáradhatnak, a felületekre rakott tojásaik pedig óhatatlanul elpusztulnak (HORVÁTH és ZEIL 1996, HORVÁTH et al. 1998, KRISKA et al. 1998, HORVÁTH és VARJÚ 2004, WILDERMUTH és HORVÁTH 2005, CSABAI et al. 2006, KRISKA et al. 2006a, HORVÁTH et al. 2007, HORVÁTH és KRISKA 2008, KRISKA et al. 2008b).

Ebből következően:

3) Az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek poláros ökológiai csapdák (ROBERTSON és HUTTO 2006, HORVÁTH és KRISKA 2008) lehetnek a tojásrakó vízirovarok

számára, mivel az odavonzott polarotaktikus rovaroknak e felületekre rakott tojásai elpusztulnak.

A fentiek alapján a következő tézist fogalmazható meg: Sima és sötét mesterséges felületek pontosan/közel függőleges visszaverődési sík esetén többé/kevésbé vonzóak a polarotaktikus vízirovarok számára, ezért e rovarok poláros ökológiai csapdáiként működnek, miáltal a poláros fényszennyezés egyik legfőbb forrásainak számítanak. Az alábbiakban összefoglalom e tézis kísérleti bizonyítékait.

Már régóta ismeretes a jelenség, miszerint szitakötők gyakran pusztulnak nyíltfelszínű olajtárolókba (KENEDY 1917). E jelenség magyarázatát a kuvaiti kőolajtavak és a budapesti pakurató fénypolarizáló sajátságainak mérésével és az általuk csapdába ejtett szitakötők polarizációlátásának vizsgálatával (HORVÁTH és ZEIL 1996, HORVÁTH et al. 1998, BERNÁTH et al. 2001a) sikerült megadni: kiderült, hogy a szitakötők a tojásrakáshoz szükséges víztesteket pozitív polarotaxissal kutatják föl. Mivel a fekete olajfelszín a vízekenél általában erősebben és mindig vízszintesen poláros fényt tükröz, ezért szupernormális ingerként hatva sokkal vonzóbb a szitakötők számára, mint maga a vízfelület.

Az aszfaltutak szintén erős poláros fényszennyező források lehetnek: másokhoz (PUSCHNIG 1926, FRASER 1936, WHITEHOUSE 1941) hasonlóan több alkalommal megfigyeltem, hogy szitakötők száraz aszfaltutak mentén járőröznek, és gyakran megérintik az aszfaltfelszínt. Napnyugtakor pedig kérészek rajzását tapasztaltam azon aszfaltutak fölött, melyek a kérészek lárváinak fejlődéséül szolgáló hegyi patakok mellett húzódnak (KRISKA et al. 1998). E kérészek gyakran le is szálltak az aszfaltra, ahová a párázást követően a nőstények lerakták tojásaikat. Kísérletekkel igazoltuk, hogy e kérészfajok is pozitív polarotaxissal keresik a vízfelszínt (KRISKA et al. 1998). Tavasszal a tojáscsomóikat potrohvégükön cipelő, tojásrakásra készülő nőstény álkérészeket (*Perla abdominalis*) is gyakran megfigyeltem aszfaltúton a Pilisben Dömörkapunál, mint ahogyan óriáscsiborokat (*Hydrophilus piceus*) is a Balaton mellett (HORVÁTH et al. 2009, EGRI et al. 2019). Képalkotó polarimetriával kimutattuk, hogy a kérészrajzás helyén napnyugtakor az aszfaltfelszín erősen és vízszintesen poláros fényt ver vissza, továbbá minél sötétebb és simább az aszfalt, annál vonzóbb a kérészek számára, mert annál nagyobb polarizációfokú fényt ver vissza.

A mezőgazdaságban gyakran használnak nagy kiterjedésű fehér és fekete műanyag (polietilén) fóliákat. A fekete olajfelülethez hasonlóan egy vízszintes fekete műanyag fólia is mindig erősen és vízszintesen poláros fényt ver vissza a Brewster-szög közelében, míg egy fehér műanyag fólia alacsony polarizációfokú, s nem mindig vízszintesen poláros fényt. Így a talajra terített fényes fekete műanyag fólia erős poláros fényszennyező forrás, míg a fehér nem. Terepkísérleteink során (CSABAI et al. 2006, KRISKA et al. 2006a, b, HORVÁTH et al. 2008) azt tapasztaltuk, hogy a fényes fekete műanyag fóliák nagy számban vonzanak magukhoz különböző vízbogarakat és vízipoloskákat, szitakötőket, kérészeket és böglyöket, míg a fehér fóliák nem. E vízirovarok is pozitív polarotaxissal találják meg vizes élőhelyeiket, ahol ők és/vagy lárváik élnek. Az összes vízirovar hasonló viselkedési elemeket mutat a fekete műanyag fóliáknál, mint a víznél, végül egy részük kiszáradva elpusztul néhány órán belül a fólián.

Vizes élőhelyek közelben gyakran megfigyelhető vízbogarak és vízipoloskák leszállása fekete és vörös gépkocsik karosszériájának vízszintes részeire, és az is, hogy kérészek és szitakötők gyakran rakják a tojásaikat az ilyen színű autókra (WILDERMUTH és HORVÁTH 2005). Kísérletekkel megállapítottuk, hogy a vörös és fekete vízszintes tükröző felületek majdnem teljesen azonos mértékben vonzzák a vízbogarakat és vízipoloskákat, míg a sárga és a fehér vízszintes tükröző felületek nem vonzóak (KRISKA et al. 2006a). Képalkotó polarimetriával kimutattuk, hogy a spektrum kék és zöld tartományában a vörös és fekete autókról visszavert fény polarizációfoka nagy és a motorháztetőről, a tetőről és a csomagtartóról tükröződő fény rezgéssíkja vízszintes. Így a vörös és fekete autók vízszintes felületei erősen vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat. Másrészről pedig a sárga és fehér

autók vízszintes részeiről visszaverődő fény polarizációfoka igen alacsony és polarizációiránya általában nem vízszintes. Eképpen a sárga és fehér gépkocsik nem vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat. A gépkocsikhoz vonzott vízirovarok által a karosszériára rakott tojásaik rövid idő alatt kiszáradnak és elpusztulnak. E pusztító hatás gyakran megjelenik a vízirovarok imágóinál is, amelyek leszállásuk után szinte rögtön odasülnek a napsütésben fölhevült autófelszínhez. Napjainkban a luxusautók karosszériáját vagy annak egy részét gyakran matt feketére/szürkére festik, vagy matt karbonfóliával borítják. Az ilyen érdes felületű autók kinézete 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. Terepkísérletekkel igazoltuk, hogy várakozásunkkal elentétben az autókarosszériák mattá tétele nem csökkenti a fekete autók poláros fényszennyezését, mert ezek többé-kevésbé, de vonzzák az általunk vizsgált polarotaktikus rovarokat (BLAHÓ et al. 2014).

Temetőinkben megfigyeltük, hogy különféle szitakötők reproduktív viselkedést mutatnak csiszolt felszínű fekete sírköveknél, ahol ugyanazt a viselkedést mutatták (ülőágon való tartózkodás, felületérintés, párzás) mint a vizeknél (HORVÁTH et al. 2007). A szitakötők azokat a síremlékeket részesítették előnyben, amelyek rendelkeztek egy legalább 0.5 m²-es vízszintes, fényes fekete felülettel, nyílt égbolt alatt voltak és volt legalább egy üllőág a közvetlen szomszédságukban. Képalkotó polarimetriával azt találtuk, hogy a vízszintes fekete sírkövek is erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek, miáltal vonzzák a polarotaktikus szitakötőket.

A dunai tömegtegzessel (*Hydropsyche pellucidula*) folytatott budapesti vizsgálataink (KRISKA et al. 2008b, MALIK et al. 2008) szerint e vízirovarok a folyóparti épületek függőleges üvegfelületeihez vonzódnak, ott rajzanak, s főleg a sötét üveglapokra szállnak, ahol másznak, párzanak és tojást raknak, miközben jelentős részüket csapdába ejtik az épület nyitott bukóablakai. Kimutattuk, hogy e tegzesek is, mint más vízirovarok, vonzódnak az erősen és vízszintesen polárosfényhez (KRISKA et al. 2008b). Képalkotó polarimetriával megmutattuk, hogy a repülő tegzesek vonzódása a függőleges üvegfelületekhez és az üvegre való leszállásuk utáni helybenmaradásuk jól magyarázható a függőleges üvegfelületek tükröződési-polarizációs sajátágaival és e rovarok pozitív polarotaxisával (MALIK et al. 2008).

A napelemtáblák és napkollektorok a fizikai jellemzőik (sima, fekete felület) miatt egy fontos új forrását jelentik a poláros fényszennyezésnek (HORVÁTH et al. 2010b). Terepi vizsgálataink során a lárvakorukban vízben élő rovarokkal: kérészekkel, álkérészekkel, szúnyoglábu legyekkel és bögölyökkel végeztünk választásos kísérleteket. Kimutattuk, hogy e rovarok polarotaktikusak, miáltal erőteljesen vonzódnak a napelemtáblákhoz és napkollektorokhoz, melyek fölött gyakran tömegesen röpködnek, és a tojásaikat is rájuk rakják (HORVÁTH et al. 2010b).

A korszerű napelemek felületét a gyártók fényvisszaverődést gátló, matt réteggel látják el az energiatermelés hatékonyságának növelése érdekében. Ennek következtében ezek a napelemek kisebb mértékben tükröznek erősen és vízszintesen poláros fényt, így feltételezhető, hogy a poláros fényszennyezésük is kisebb mértékű lehet. Kísérleteink azonban azt mutatták, hogy a vízirovarok matt, vagy fényes napelemekhez való erőteljesebb vonzódása taxon függő, ami feltehetően életmódbeli különbségeikre vezethető vissza (SZÁZ et al. 2016). 2019-es kísérleteink még publikálatlan eredményei azt mutatják, hogy a legkorszerűbb matt napelemek felülete által depolarizált fény már nem váltja ki a vízirovarok pozitív polarotaxisát.

A PF jelensége az egész világra kiterjed (globális), és evolúciós értelemben újkeletű, hiszen csak az elmúlt évtizedekben fokozódott, követve az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek (például nyílt olajfelszínek, aszfaltutak, műanyag fóliák, üvegtáblák, autókarosszériák) világméretű elterjedését. A PF főleg a veszélyeztetett vízirovarfajok

populációit fenyegeti. PF nemcsak napközben fordulhat elő, hanem éjszaka is, mikor a holdfény vagy a települések fényei verődnek vissza a poláros fényszennyező felületekről. Munkánk eredményeként ma már bizonyítottnak tekinthető, hogy a PF káros hatása erősödhet a mesterséges éjszakai megvilágítások által okozott hagyományos (fototaxis által előidézett) fényszennyezéssel kombinálódva (BODA et al. 2014, SZÁZ et al. 2015, FARKAS et al. 2016). Újabb kutatásaink arra is fényt derítettek, hogy a száraz aszfaltutak, mint a PF világszerte elterjedt forrásai, a kérészek polarotaktikus vízkövetési viselkedésének kialakításával képesek a petézést kiváltó erősen poláros objektumokhoz, például sötét színű gépkocsikhoz, nagy távolságból is odavezetni a kérészeket, miáltal egy komplex ökológiai csapda kialakításában vesznek részt (EGRI et al. 2017).

Mivel a vízirovarok fontos tagjai a vízi ökoszisztémák táplálékláncainak, a PF ezen állatokra kifejtett káros hatásai komoly ökológiai következményekkel járhatnak. A következmények számszerűsítése érdekében nemrégiben egy középhegységi patak szakasz mellett futó aszfaltút PF miatti károsító hatását vizsgáltuk meg egy álkérészfaj a *Perla abdominalis* [Guérin-Méneville, 1838] esetében (EGRI et al. 2019).

A poláros fényszennyezés egyes gerincesekre és pókokra gyakorolt hatásai

A PF polarotaktikus rovarokat megtévesztő elsődleges hatása mellett a másodlagos hatásai akár előnyösek is lehetnek, mikor bizonyos állatok (például pókok, madarak, denevérek) azokkal a polarotaktikus rovarokkal táplálkoznak, melyeket a poláros fényszennyező források például földre terített mezőgazdasági fényes fekete műanyag fóliák (BERNÁTH et al. 2001b, 2008), aszfaltutak (KRISKA et al. 1998), a budapesti Duna-part épületeinek üvegfelületei (KRISKA et al. 2008b), vonzottak magukhoz.

A rowarevő madarak számára első közelítésben előnyt jelent a poláros fényszennyező forrásokhoz odavonzott polarotaktikus rovarok tömege, ami időszakos és térben jól körülhatárolt, bő zsákmányforrást jelent. Másrészt viszont a tömegrajzó tegzesek miatt megjelenő fészekrabló szarkák és a városi környezettel együttjáró egyéb ragadozók pl. kőbormacskák megnövekedett predációsveszélyt jelenthetnek rájuk. Ez utóbbi hatást tovább súlyosbíthatja, hogy az időszakosan (a tegzesrajzáskor) megjelenő táplálékbőség elmúltával a madarak nem találnak a területen elegendő táplálékot a fiókáik felneveléséhez. Ezáltal tehát egy kezdetben előnyösnek tűnő élőhely egyes madárfajok esetében később kifejezetten hátrányosnak bizonyulhat az utódnemzedék túlélése szempontjából, ami egy tipikus ökológiai csapda (ROBERTSON és HUTTO 2006, HORVÁTH és KRISKA 2008, ROBERTSON et al. 2010, PERESZLÉNYI et al. 2017) kialakulását eredményezheti.

A polarotaxissal történő vízdetektálást zavaró természetes tényezők

A polarotaxissal történő vízdetektálást zavaró mesterséges hatások mellett természetes tényezőket is megemlíthetünk. Az ősi aszfaltmocsarak esetében például a föld mélyén felhalmozódott kőolaj természetes módon került a felszínre és csapdázott polarotaktikus vízirovarokat (PILCHER és SEXTON 1993).

Miközben egy kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy miért található jelentős mennyiségű vízirovar a borostyánban (WICHARD et al. 2009) egy újabb, a polarotaxissal történő vízdetektálást megzavaró természetes tényezőt sikerült felderítenünk. A Balti borostyán alapanyagát az Eocénben, mintegy 40-50 millió éve élt fák gyantatermelése adta. Kutatásunk során számos vízirovar taxon esetében valószínűsítettük, hogy a gyantás fatörzsek optikai sajátosságait utánzó ragacsos tesztfelületek bizonyos körülmények között a róluk visszavert erősen és vízszintesen poláros fény által megtévesztik, magukhoz vonzzák és csapdázzák a polarotaxissal vizet kereső rovarokat. Mindezek alapján feltételezhető, hogy a fentiekben leírt jelenségnek is szerepe volt abban, hogy a vízirovarok ilyen nagy számban foszilizálódtak a borostyánban (HORVÁTH et al. 2019).

A poláros fényszennyezés ellenszerei

A PF egyik lehetséges ellenszere, hogy az azt okozó tükröző felületeket tegyük olyan durvává, hogy a róluk visszaverődő, s depolarizálódó fény polarizációfoka essen a polarotaktikus vízirovarok ingerküszöbe alá. A felületi durvaság további előnye, hogy a durva felszínről visszavert fény polarizációiránya általában nem vízszintes, miáltal nem vonzó a polarotaktikus vízirovarok számára.

Egy másik lehetőség a poláros fényszennyezés csökkentésére, hogy a fényt visszaverő felületeket minél világosabbá tesszük, mert az Umow szabály szerint egy adott hullámhosszon egy felület annál kevésbé polarizálja a róla visszaverődő fényt, minél világosabb. Ennélfogva a fényes (sima) és fekete felületek a poláros fényszennyezés legerősebb forrásai, míg a matt (durva) és fehér felszínek a legkevésbé poláros fényszennyezők.

A napelemek terepkísérleti alkalmazása során figyeltem fel egy a poláros fényszennyezés elleni harcban fontos szerepet játszó új jelenségre: A napelemtáblák a vízirovarok számára akkor nem vonzóak, ha a felületükön fehér csíkokból álló, a visszavert fényt depolarizáló rácsmintázat található. Erősen és vízszintesen polarizáló tesztfelületekkel igazoltuk, hogy ha ezeket olyan fehér rácsosattal látjuk el, amely az egységes fényes, fekete felületet kisebb-nagyobb mértékben fölaprózza, akkor ezekre akár harmincszor kevesebb vízirovar száll le, mint az azonos felületű rácsosatlan tesztfelületekre (HORVÁTH et al. 2010b). A jelenség hátterében az áll, hogy a repülő vízirovarok vízszintesen poláros fényt tükröző olyan felületeket keresnek az optikai környezetükben, melyek kiterjedése egy fajra jellemző küszöbértéknél nem kisebb.

Napjainkban a gyorsan bekövetkező, globális szintű környezetváltozások miatt az ökológiai csapdák kialakulására egyre nagyobb az esély. A létező ökológiai csapdáknak ma még sajnos csak egy töredékét ismerjük, ezért az ökoszisztémára kifejtett káros hatásuk valószínűleg jóval nagyobb, mint azt eddig gondolták. Ezért is bír nagy jelentőséggel minden olyan módszer, amellyel csökkenthető az ökológiai csapdahatás.

A poláros fényszennyezés hasznosítása

A PF környezetbarát módszert kínál a haszonállattartásban igen káros és az emberre is veszélyes betegségek kórokozóit terjesztő vérszívó böglyök új típusú csapdába ejtésére. A szabadalmaztatott (HORVÁTH GÁBOR és KRISKA GYÖRGY (2007): Rovarcsapda, különösen böglycsapda (701245/DO), Taba-NOid technológiának nevezett módszer kifejlesztését a böglyök pozitív polarotaxisának felfedezése tette lehetővé, vagyis annak felismerése, hogy a vérszívó rovarok a poláros fényhez vonzódnak, ezért az ilyen fényt keltő alkalmas csapdaszerkezetekkel befoghatók és elpusztíthatók (HORVÁTH et al. 2008, KRISKA et al. 2008a, EGRI et al. 2012a).

Egy Eu-FP7 kutatás-fejlesztési pályázat (TaBaNOid-232366) tette lehetővé számunkra a poláros böglycsapda különböző prototípusainak kifejlesztését és terepen történő tesztelését, optimalizálását (BLAHÓ et al. 2012b, EGRI et al. 2013).

3. ÖSSZEGZÉS ÉS KITEKINTÉS

A két tematikai egységre osztható értekezésben bemutatott kutatásaim egyrészt új adatokat eredményeztek különböző vízirovar taxonok polarizációérzékelésével és ennek biológiai szerepével kapcsolatban, másrészt bemutatták különböző mesterséges poláros fényforrások és polarizációs mintázatok vízirovarokra kifejtett hatásait.

[1] Kimutattuk, hogy a tiszavirág (*Palingenia longicauda*) más kérészfajokhoz hasonlóan rendelkezik pozitív polarotaxissal, amely ingermozgás jelentős szerepet játszik a hím és nőtény imágók rajzási viselkedésében (KRISKA et al. 2007, 3.1.1. fejezet).

[2] Bizonyítottuk, hogy a három korábban vizsgált melegégövi árvaszúnyog fajon (LERNER et al. 2008, 2011, MELTSEY et al. 2008) túl további árvaszúnyog fajok rendelkeznek pozitív polarotaxissal (HORVÁTH et al. 2011, 3.1.2. fejezet). Az eredmények arra utalnak, hogy az árvaszúnyogoknál általánosnak tekinthető a polarotaxis. Ez az eredmény megalapozhatja vizuális alapon működő árvaszúnyogcsapdák kifejlesztését, amelyek a közegészségügyi, vagy turisztikai szempontú árvaszúnyogirtítások megfelelő eszközei lehetnek.

[3] Igazoltuk a bögölyök ventrális polarizációlátását és pozitív polarotaxisát (HORVÁTH et al. 2008, KRISKA et al. 2008a, 3.1.3.1. fejezet). A kutatás eredményeként sikerült valószínűsíteniünk a polarotaxis meghatározó szerepét a bögölyök táplálkozási és szaporodási viselkedésében. A polarotaxis domináns tulajdonságként való igazolása a nőtény és a hím bögölyöknél, lehetőséget ad e rovarok optikai alapon működő, nagy hatékonyságú csapdázására (BLAHÓ et al. 2012b, EGRI et al. 2013, 3.2.6. fejezet).

Megállapítottuk, hogy a fehér szűrő lovak a bögölyök számára kevésbé vonzóak, mint a sötétebb színűek (HORVÁTH et al. 2010a, 3.1.3.2. fejezet). Kísérletekkel és képalkotó polarimetriai vizsgálatokkal alátámasztottuk azt, hogy e jelenség a testfelület fénypolarizáló képességével és a bögölyök pozitív polarotaxisával magyarázható. További, a bögölyök polarotaktikus gazdaderékciójával kapcsolatos kutatások eredményeként leírtunk egy újfajta polarotaxist (EGRI et al. 2012a), és kapcsolatot találtunk a potenciális gazdaállatok kültakarómintázata és bögölytaszítóképessége között (BLAHÓ et al. 2012a, 2013, EGRI et al. 2012b).

[4] Képalkotó polarimetriai mérésekkel és választásos terepkísérletekkel kimértük olyan szitakötők, kérészek és bögölyök ventrális szemrészenek polarizációfok ingerküszöb p^* értékét, amelyek pozitív polarotaxisának igazolása már korábban megtörtént (KRISKA et al. 2009, 3.1.4. fejezet). Ez a munka nyújtott először kísérleti alapon p^* értékeket a kérészek, szitakötők és bögölyök esetében. A vízirovarok p^* értékeinek ismerete lehetőséget ad arra, hogy az ember alkotta optikai környezetben mérhetők és monitorozhatók legyenek azok a mesterséges felületek, amelyek vízszintesen poláros fényt visszaverve megteveszthetik a vizet kereső különböző vízirovar fajokat.

[5] Megállapítottuk, hogy az *Ephoron virgo* és *Caenis robusta* kérészfajok egyedei kevésbé vonzódnak a függőlegesen poláros fényhez, mint a polarizálatlanhoz (FARKAS et al. 2016, 3.1.5. fejezet). A különbség a vízszintesen poláros és a függőlegesen poláros fény között még kifejezettebb: az előbbi sokkal vonzóbb, mint az utóbbi. Eredményeink szerint e viselkedés jelentősége abban áll, hogy a kérészek vízfelszíni repülésükkor visszafordulnak azon felszínrészekről, amelyek függőlegesen vagy nem vízszintesen poláros fényt tükröznek, így jelezve a kérészek rajzása és tojásrakása szempontjából alkalmatlan partrészeket. Egy különleges következménye e viselkedésnek a kompenzációs repülésben részt vevő kérészek visszafordulása a hidaknál, ahol a híd vízre vetülő árnyékánál és tükörképénél gyakran függőlegesen poláros fény tükröződik.

[6] Meghatároztuk az ökológiai csapdák egy speciális formáját a vízirovarokat fenyegető poláros fényszennyezést (HORVÁTH et al. 2009, 3.2.6. fejezet), melynek tipikus forrásai a kőolaj- és pakuratavak (BERNÁTH et al. 2001a), az aszfaltutak (KRISKA et al. 1998), a mezőgazdaságban használatos fekete műanyag fóliák (BERNÁTH et al. 2008), az üvegházak és épületek üvegfelületei (KRISKA et al. 2008b, MALIK et al. 2008, 3.2.3. fejezet), az autók karosszériája (KRISKA et al. 2006a, 3.2.1. fejezet), fekete sírkövek (HORVÁTH et al. 2007, 3.2.4. fejezet), a napelemek és napkollektorok (HORVÁTH et al. 2010b). Ha egy polarotaktikus vízirovar választhat e vízszintesen polarizáló felületek és egy vízfelület között, akkor az előbbiek szupernormális polarizációs jele miatt nem a vizet választja. A poláros fényt visszaverő pernyemező vizsgálata (KRISKA et al. 2006b, 3.2.2. fejezet) során viszont azt bizonyítottuk, hogy ez a mesterséges objektum nem képes pozitív polarotaxist kiváltani a vízirovarokból, ami azzal magyarázható, hogy bár az erősen polarizáló fekete pernyemezők magas lineáris polarizációfokú fényt vernek vissza, a szoláris és antiszoláris meridián irányától eltekintve a róluk visszaverődő fény átlagos polarizációiránya nem vízszintes és a polarizációirány szórása mindig nagy.

[7] Kutatásaink eredményeként kimutattuk, hogy az ökológiai fényszennyezés különböző forrásai képesek összetett ökológiai csapdákat képezni, amelyek nagyobb területen fejtik ki hatásukat és váratlanul nagy rovarpusztulásokat is okozhatnak (BODA et al. 2014, SZÁZ et al. 2015). Megállapítottuk, hogy az összetett fénypolarizációs ingerek által vezérelt ökológiai csapdák egyik típusa a polarotaktikus szívóhatással kiegészülő foto- és polarotaktikus ökológiai csapda. Ennél egy pozitív polarotaxissal bíró rovar tömeget egy fénypolarizációs jel vezethet valamely mesterséges fényforrás közelébe, ahol a pozitív foto- és polarotaxisuk révén halálos ökológiai csapdába kerülhetnek. E jelenség első két példáját a dunavirág (*Ephoron virgo*) éjszakai tömegrajzása (SZÁZ et al. 2015, 3.2.5.2. fejezet) és a dánkérés, valamint a tarka kérész szaporodási viselkedése esetében sikerült dokumentálnunk (EGRI et al. 2017, 3.2.5.2. fejezet).

A vízirovarok polarotaxisának és fénypolarizációs csapdáinak alaposabb megismerését célzó kutatásaim során nagy hangsúlyt fektettem a megszerzett ismeretek gyakorlati felhasználására is. Értekezésem részeként bemutattam a poláros fényszennyezés és az összetett foto- és polarotaktikus ökológiai csapda hatását csökkentő/megszüntető eljárásokat, eszközöket (3.2.5.2. és 3.2.6. fejezetek, KRISKA et al. 1998, 2006a, 2008b, HORVÁTH et al. 2009, 2010b, 2010c, SZÁZ et al. 2016).

A poláros fényszennyezés jelenségének gyakorlati hasznosítását jelentheti a közegészségügyi, vagy gazdasági szempontból kártékonnak tekinthető polarotaktikus rovarokat, például a bögölyöket fénypolarizációs módszerrel csapdázó eszközök kifejlesztése (3.2.6. fejezet). Az erre irányuló tevékenységünk eredményeként számos publikáció jelent meg, amelyek a jelenség elméleti hátterének feltárása (HORVÁTH et al. 2008, 2010a, KRISKA et al. 2008a, 2009, BLAHÓ et al. 2012a, EGRI et al. 2012a, 2012b) mellett a nagy hatékonyságú fénypolarizációs bögölycsapdák megvalósításához (BLAHÓ et al. 2012b, EGRI et al. 2013) is segítséget adnak.

Az utóbbi félévszázad rohamos technikai fejlődésével felgyorsuló településfejlesztés folyamatosan növeli a poláros fényszennyező objektumok elterjedését, ami egyértelműen indokoltá teszi a poláros ökológiai csapdák kapcsolatos ismereteink bővítését az élővilág sokféleségének fenntartása érdekében.

4. IDÉZETT IRODALOM

- Battin, J. (2004) When good animals love bad habitats: Ecological traps and the conservation of animal populations. *Conservation Biology*, 18/6: 1482–1491
- Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2001a) Visual ecological impact of "shiny black anthropogenic products" on aquatic insects: oil reservoirs and plastic sheets as polarized traps for insects associated with water. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research*, 40/2: 89–109
- Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2001b) Visual ecological impact of a peculiar waste oil lake on the avifauna: dual-choice field experiments with water-seeking birds using huge shiny black and white plastic sheet. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research* 40/1, 1–28
- Bernáth, B., Szedenics, G., Wildermuth, H. and Horváth, G. (2002) How can dragonflies discern bright and dark waters from a distance? The degree of polarization of reflected light as a possible cue for dragonfly habitat selection. *Freshwater Biology*, 47: 1707–1719
- Bernáth, B.; Kriska, Gy.; Suhai, B.; Horváth, G. (2008) Insectivorous birds as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54/1 (Suppl. 1): 145–155
- Blahó, M.; Egri, Á.; Báhidszki, L.; Kriska, Gy.; Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012a) Spottier targets are less attractive to tabanid flies: on the tabanid-repellency of spotty fur patterns. *PLoS ONE*, 7/8: e41138
- Blahó, M.; Egri, Á.; Barta, A.; Kriska, Gy.; Antoni, G.; Horváth, G. (2012b) How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology*, 189: 353–365
- Blahó, M.; Egri, Á.; Száz, D.; Kriska, Gy.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2013) 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: 168–174
- Blahó, M.; Herczeg, T.; Kriska, Gy.; Egri, Á.; Száz, D.; Farkas, A.; Tarjanyi, N.; Czinke, L.; Barta, A.; Horváth, G. (2014) 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*, 9/7: e103339
- Boda, P.; Horváth, G.; Kriska, Gy.; Blahó, M.; Csabai, Z. (2014) Phototaxis and polarotaxis hand in hand: night dispersal flight of aquatic insects distracted synergistically by light intensity and reflection polarization. *Naturwissenschaften*, 101/5: 385–395
- Brodskiy, A. K. (1973) The swarming behavior of mayflies (Ephemeroptera). *Entomological Review*, 52: 33–39
- Csabai, Z.; Boda, P.; Bernáth, B.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2006) A 'polarisation sun-dial' dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology*, 51: 1341–1350
- Egri, Á.; Blahó, M.; Sándor, A.; Kriska, Gy.; Gyurkovszky, M.; Farkas, R.; Horváth, G. (2012a) New kind of polarotaxis governed by degree of polarization: attraction of tabanid flies to differently polarizing host animals and water surfaces. *Naturwissenschaften*, 99: 407–416
- Egri, Á.; Blahó, M.; Kriska, Gy.; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012b) Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: An advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology*, 215: 736–745
- Egri, Á.; Blahó, M.; Száz, D.; Barta, A.; Kriska, Gy.; Antoni, G.; Horváth, G. (2013) A new tabanid trap applying a modified concept of the old flypaper: Linearly polarizing

- sticky black surfaces as an effective tool to catch polarotactic horseflies. *International Journal for Parasitology*, 43: 555–563
- Egri, Á.; Száz, D.; Farkas, A.; Pereszlényi, Á.; Horváth, G.; Kriska, Gy. (2017) Method to improve the survival of night-swarming mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *Royal Society Open Science*, 4: 171166, 9p
- Egri, Á.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2018) Method to reduce motion artifacts of sequential imaging polarimetry: Long enough exposures minimize polarization blurs of wavy water surfaces. *Applied Optics*, 57: 7564–7569
- Egri, Á.; Száz, D.; Pereszlényi, Á.; Bernáth, B.; Kriska, Gy. (2019) Quantifying the polarised light pollution of an asphalt road: an ecological trap for the stonefly, *Perla abdominalis* (Guérin-Méneville, 1838) (Plecoptera: Perlidae). *Aquatic Insects*, 40/3: 257–269
- Egri, Á.; Kriska, Gy. (2019) How does the water springtail optically locate suitable habitats? Spectral sensitivity of phototaxis and polarotaxis in *Podura aquatica*. *Journal of Experimental Biology*, 220: 9 Paper: jeb199760
- Farkas, A.; Száz, D.; Egri, Á.; Barta, A.; Mészáros, Á.; Hegedüs, R.; Horvath, G.; Kriska, Gy. (2016) Mayflies are least attracted to vertical polarization: a polarotactic reaction helping to avoid unsuitable habitats. *Physiology and Behavior*, 163: 219–227
- Fraser, F. C. (1936) *The Fauna of British India. Odonata*, vol 3. Taylor and Francis, London
- Günther, A. (2003) Eiablage von *Sympetrum vulgatum* auf ein parkendes Auto (Odonata: Libellulidae). *Libellula*, 22: 19–23
- Horváth, G.; Zeil, J. (1996) Kuwait oil lakes as insect traps. *Nature*, 379: 303–304
- Horváth, G.; Bernáth, B.; Molnár, G. (1998) Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. *Naturwissenschaften*, 85: 292–297
- Horváth, G.; Varjú, D. (2004) *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg – Berlin – New York
- Horváth, G.; Malik, P.; Kriska, Gy.; Wildermuth, H. (2007) Ecological traps for dragonflies in a cemetery: the attraction of *Sympetrum* species (Odonata: Libellulidae) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology*, 52: 1700–1709
- Horváth, G.; Kriska, G. (2008) Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: J. Lancaster and R. A. Briers (eds.) *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 204–229
- Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, Gy. (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften*, 95: 1093–1100
- Horváth, G.; Kriska, Gy.; Malik, P.; Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7/6: 317–325
- Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, Gy.; Hegedüs, R.; Gerics, B.; Farkas, R.; Åkesson, S. (2010a) An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 277: 1643–1650
- Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, Gy.; Seres, I.; Robertson, B. (2010b) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology*, 24: 1644–1653
- Horváth, G.; Kriska, Gy.; Malik, P.; Hegedüs, R.; Neumann, L.; Åkesson, S.; Robertson, B. (2010c) Asphalt surfaces as ecological traps for water-seeking polarotactic insects: How can the polarized light pollution of asphalt surfaces be reduced? Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, New York, USA

- Horváth, G.; Móra, A.; Bernáth, B.; Kriska, Gy. (2011) Polarotaxis in non-biting midges: female chironomids are attracted to horizontally polarized light. *Physiology and Behavior*, 104/5: 1010–1015
- Horváth, G.; Pereszlenyi, Á.; Åkesson, S.; Kriska, Gy. (2019) Striped bodypainting protects against horseflies. *Royal Society Open Science* 6: 181325 (<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.181325>)
- Horváth, G.; Egri, Á.; Meyer-Rochow, V. B.; Kriska, Gy. (2019) How did amber get its aquatic insects? Water-seeking polarotactic insects trapped by tree resin. *Historical Biology*, DOI: 10.1080/08912963.2019.1663843 (<https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1663843>)
- Kennedy, C. H. (1917) Notes on the life history and ecology of the dragonflies (Odonata) of central California and Nevada. *Proc. US Nat. Mus.*, 52: 483–635
- Kokko, H.; Sutherland, W. J. (2001) Ecological traps in changing environments: ecological and evolutionary consequences of a behaviourally mediated Allee effect. *Evol. Ecol. Res.*, 3: 537–51
- Können, G. P. (1985) *Polarized Light in Nature*. Cambridge University Press, Cambridge
- 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
- Kriska, Gy.; Csabai, Z.; Boda, P.; Malik, P.; Horváth, G. (2006a) Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection–polarization signals. *Proceedings B of the Royal Society*, 273: 1667–1671
- Kriska, G.; Malik, P.; Csabai, Z.; Horváth, G. (2006b) Why do highly polarizing black burnt-up stubble-fields not attract aquatic insects? An exception proving the rule. *Vision Research*, 46: 4382–4386
- Kriska, Gy.; Bernáth, B.; Horváth, G. (2007) Polarotaxis in a mayfly that needs not search for water: polarotactic water detection in *Palingenia longicauda* (Ephemeroptera). *Naturwissenschaften*, 94: 148–154
- Kriska, Gy.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Horváth G. (2008a) Polarotaxis in tabanid flies and its practical significance. *Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica*, 18: 101–108
- Kriska, Gy.; Malik, P.; Szivák, I.; Horváth, G. (2008b) Glass buildings on river banks as "polarized light traps" for mass-swarming polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften*, 95/5: 461–467
- Kriska, Gy.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G. (2009) Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology*, 55: 1167–1173
- Lee, J. J. (2012) Mystery of zebra's stripes finally solved? *Science*: <http://news.sciencemag.org/2012/02/mystery-zebras-stripes-finally-solved>
- Lerner, A.; Meltser, N.; Sapir, N.; Erlick, C.; Shashar, N. and Broza, M. (2008) Reflected polarization guides chironomid females to oviposition sites. *Journal of Experimental Biology*, 211: 3536–3543
- Lerner, A.; Sapir, N.; Erlick, C.; Meltser, N.; Broza, M.; Shashar, N. (2011) Habitat availability mediates chironomid density-dependent oviposition. *Oecologia*, 165: 905–14
- Malik, P.; Hegedüs, R.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2008) Imaging polarimetry of glass buildings: Why do vertical glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics*, 47/24: 4361–4374
- Málnás, K.; Polyák, L.; Prill, É.; Hegedüs, R.; Kriska, Gy.; Dévai, Gy.; Horváth, G.; Lengyel, Sz. (2011) Bridges as optical barriers and population disruptors for the mayfly

- Palingenia longicauda*: an overlooked threat to freshwater biodiversity? *Journal of Insect Conservation*, 15: 823–832
- Meltser, N.; Kashi, Y.; Broza, M. (2008) Does polarized light guide chironomids to navigate toward water surfaces? *Bol Mus Munic Funchal (História Natural)*, 13: 141–9 (Suppl)
- Mitchell, A. (1998) News and Views - Ecology: Polarized flight. *Nature*, 394: 425
- Mizera, F.; Bernáth, B.; Kriska, Gy.; Horváth, G. (2001) Stereo videopolarimetry: measuring and visualizing polarization patterns in three dimensions. *Journal of Imaging Science and Technology*, 45/4: 393–399
- Pereszlényi, Á.; Horváth, G.; Kriska, Gy. (2017) Atypical feeding of woodpeckers, crows and redstarts on mass-swarmed *Hydropsyche pellucidula* caddisflies attracted to glass panes. *Urban Ecosystems* 20: 1203–1207
- Pilcher, C. W. T.; Sexton D. B. (1993) Effects of the gulf war oil spills and well-head fires on the avifauna and environment of Kuwait. *Sandgrouse*, 15: 6–17
- Puschig, R. (1926) *Albanische Libellen*. *Konowia*, 5: 33, 113, 208, 313
- Robertson, B. A.; Hutto, R. L. (2006) A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. *Ecology*, 87: 1075–85
- Robertson, B.; Kriska, Gy.; Horváth, V.; Horváth, G. (2010) Glass buildings as bird feeders: Urban birds exploit insects trapped by polarized light pollution. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 56/3: 283–293
- Schlaepfer, M.A.; Runge, M.C.; Sherman, P.W. (2002) Ecological and evolutionary traps. *Trends in Ecology and Evolution*, 17/10: 478–480
- Schwind, R. (1983a) Zonation of the optical environment and zonation in the rhabdom structure within the eye of the backswimmer, *Notonecta glauca*. *Cell Tiss. Res*, 232: 53–63
- Schwind, R. (1983b) A polarization-sensitive response of the flying water bug *Notonecta glauca* to UV light. *Journal of Comparative Physiology*, 150: 87–91
- Schwind, R. (1984a) Evidence for true polarization vision based on a two-channel analyser system in the eye of the water bug, *Notonecta glauca*. *Journal of Comparative Physiology A*, 154: 53–57
- Schwind, R. (1984b) The plunge reaction of the backswimmer *Notonecta glauca*. *Journal of Comparative Physiology A*, 155: 319–321
- Schwind, R. (1985a) Sehen unter und über Wasser, Sehen vom Wasser: Das Sehsystem eines Wasserinsektes. *Naturwissenschaften*, 72: 343–352
- Schwind, R. (1985b) A further proof of polarization vision of *Notonecta glauca* and a note on threshold intensity for eliciting the plunge reaction. *Experientia*, 41: 466–467
- Schwind, R. (1989) A variety of insects are attracted to water by reflected polarized light. *Naturwissenschaften*, 76: 377–378
- Schwind, R. (1991) Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A*, 169: 531–540
- Schwind, R. (1995) Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. - *J. Comp. Physiol. A*, 177: 439–448
- Stevani, C. V.; Porto, J. S.; Trindade, D. J.; Bechara, E. J. H. (2000a) Automotive clearcoat damage due to oviposition of dragonflies. *J. Appl. Polym. Sci.*, 75: 1632–1639
- Stevani, C. V.; Faria, D. L. A.; Porto, J. S.; Trindade, D. J.; Bechara, E. J. H. (2000b) Mechanism of automotive clearcoat damage by dragonfly eggs investigated by surface enhanced Raman scattering. *Polym. Degrad. Stab.*, 68: 61–66
- Svihla, A. (1961) An unusual ovipositing activity of *Pantala flavescens* Fabricius. *Tombo*, 4: 18
- Száz, D., Horváth, G., Barta, A., Robertson, B. A., Farkas, A., Egri, Á., Tarjányi, N., Rácz, G., Kriska, Gy. (2015) Lamp-lit bridges as dual light-traps for the night-swarmed mayfly, *Ephoron virgo*: Interaction of polarized and unpolarized light pollution. *PLoS ONE*, 10/3: e0121194

- Száz, D.; Mihályi, D.; Farkas, A.; Egri, Á.; Barta, A.; Kriska, Gy.; Robertson, B.; Horváth, G. (2016) Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation*, 20: 663–675
- Torralba-Burrial, A.; Ocharan, F. J. (2003) Coches como hábitat para libélulas? Algunos machos de *Crocothemis erythraea* creen que sí. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 32: 214–215
- Watson, J. A. L. (1992) Oviposition by exophytic dragonflies on vehicles. *Notulae Odonatologicae*, 3: 137
- Whitehouse FC (1941) A guide to the study of dragonflies of Jamaica. *Bull Inst Jamaica Sci Ser no 3*
- Wichard, W.; Gröhn, C.; Seredszus, F. (2009) *Aquatic Insects in Baltic Amber*. Verlag Kessel
- 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
- Wildermuth, H.; Horváth, G. (2005) Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae). *International Journal of Odonatology*, 8: 97–105
- Wyniger, R. (1955) Beobachtungen über die Eiablage von *Libellula depressa* L. (Odonata, Libellulidae). *Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel NF*, 5: 62–63

5. A DOKTORI MŰ ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK JEGYZÉKE

- [1] Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; **Kriska, Gy.**; Horváth G. (2001a) Visual ecological impact of "shiny black anthropogenic products" on aquatic insects: oil reservoirs and plastic sheets as polarized traps for insects associated with water. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research*, 40/2: 89–109
- [2] Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; **Kriska, Gy.**; Horváth, G. (2001b) Visual ecological impact of a peculiar waste oil lake on the avifauna: dual-choice field experiments with water-seeking birds using huge shiny black and white plastic sheet. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research*, 40/1, 1–28
- [3] Bernáth, B.; **Kriska, Gy.**; Suhai, B.; Horváth, G. (2008) Insectivorous birds as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 54/1 (Suppl. 1): 145–155. IF: 0.522
- [4] Blahó, M.; Egri, Á.; Báhidzski, L.; **Kriska, Gy.**; Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012a) Spottier targets are less attractive to tabanid flies: on the tabanid-repellency of spotty fur patterns. *PLoS ONE*, 7/8: e41138. IF: 3.730
- [5] Blahó, M.; Egri, Á.; Barta, A.; **Kriska, Gy.**; Antoni, G.; Horváth, G. (2012b) How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology*, 189: 353–365. IF: 2.381
- [6] Blahó, M.; Egri, Á.; Száz, D.; **Kriska, Gy.**; Åkesson, S.; Horváth, G. (2013) 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: 168–174. IF: 3.033
- [7] Blahó, M.; Herczeg, T.; **Kriska, Gy.**; Egri, Á.; Száz, D.; Farkas, A.; Tarjanyi, N.; Czinke, L.; Barta, A.; Horváth, G. (2014) 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*, 9/7:e103339. IF: 3.234
- [8] Boda, P.; Horváth, G.; **Kriska, Gy.**; Blahó, M.; Csabai, Z. (2014) Phototaxis and polarotaxis hand in hand: night dispersal flight of aquatic insects distracted synergistically by light intensity and reflection polarization. *Naturwissenschaften*, 101/5: 385–395. IF: 2.098
- [9] Egri, Á.; Blahó, M.; Sándor, A.; **Kriska, Gy.**; Gyurkovszky, M.; Farkas, R.; Horváth, G. (2012a) New kind of polarotaxis governed by degree of polarization: attraction of tabanid flies to differently polarizing host animals and water surfaces. *Naturwissenschaften*, 99: 407–416. IF: 2.144
- [10] Egri, Á.; Blahó, M.; **Kriska, Gy.**; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012b) Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: An advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology*, 215: 736–745. IF: 3.236
- [11] Egri, Á.; Blahó, M.; Száz, D.; Barta, A.; **Kriska, Gy.**; Antoni, G.; Horváth, G. (2013) A new tabanid trap applying a modified concept of the old flypaper: Linearly polarizing sticky black surfaces as an effective tool to catch polarotactic horseflies. *International Journal for Parasitology*, 43: 555–563. IF: 3.404
- [12] Egri, Á.; Pereszlényi, Á.; Farkas, A.; Horváth, G.; Penksza, K.; **Kriska, Gy.** (2017a) 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: 374–384. IF = 0.970
- [13] Egri, Á.; Száz, D.; Farkas, A.; Pereszlényi, Á.; Horváth, G.; **Kriska, Gy.** (2017b) Method to improve the survival of night-swarmer mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *Royal Society Open Science*, 4: 171166, 9p. IF = 2.243
- [14] Egri, Á.; Száz, D.; Pereszlényi, Á.; Bernáth, B.; **Kriska, Gy.** (2019) Quantifying the polarised light pollution of an asphalt road: an ecological trap for the stonefly, *Perla abdominalis* (Guérin-Méneville, 1838) (Plecoptera: Perlidae). *Aquatic Insects*, 40/3: 257–269. IF: 0.970
- [15] Farkas, A.; Száz, D.; Egri, Á.; Barta, A.; Mészáros, Á.; Hegedüs, R.; Horvath, G.; **Kriska, Gy.** (2016) Mayflies are least attracted to vertical polarization: a polarotactic reaction helping to avoid unsuitable habitats. *Physiology and Behavior*, 163: 219–227. IF2015: 2.976*
- [16] Horváth, G.; Malik, P.; **Kriska, Gy.**; Wildermuth, H. (2007) Ecological traps for dragonflies in a cemetery: the attraction of *Sympetrum* species (Odonata: Libellulidae) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology*, 52/9: 1700–1709. IF: 2.65*
- [17] Horváth, G.; **Kriska, Gy.** (2008) Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. (Lancaster, J. and Briers, R. A., eds.) CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK, Chapter 11, 204–229*
- [18] Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; **Kriska, Gy.** (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften*, 95/11: 1093–1100. IF: 2.126*
- [19] Horváth, G.; **Kriska, Gy.**; Malik, P.; Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7/6: 317–325. IF: 6.922*

- [20] Horváth, G.; Blahó, M.; **Kriska, Gy.**; Hegedüs, R.; Gerics, B.; Farkas, R.; Åkesson, S. (2010a) An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society B*, 277/1688: 1643–1650. IF: 5.064*
- [21] Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; **Kriska, Gy.**; Seres, I.; Robertson, B. (2010b) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology*, 24: 1644–1653 IF: 4.894
- [22] Horváth, G.; **Kriska, Gy.**; Malik, P.; Hegedüs, R.; Neumann, L.; Åkesson, S.; Robertson, B. (2010c) Asphalt surfaces as ecological traps for water-seeking polarotactic insects: How can the polarized light pollution of asphalt surfaces be reduced? Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, New York, USA
- [23] Horváth, G.; Móra, A.; Bernáth, B.; **Kriska, Gy.** (2011) Polarotaxis in non-biting midges: female chironomids are attracted to horizontally polarized light. *Physiology and Behavior*, 104/5: 1010–1015 IF: 2.869*
- [24] Horváth, G.; Pereszlényi, Á.; Åkesson, S.; **Kriska, Gy.** (2019) Striped bodypainting protects against horseflies. *Royal Society Open Science* 6: 181325 (<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.181325>) IF: 2.504
- [25] Horváth, G.; Egri, Á.; Meyer-Rochow, V. B.; **Kriska Gy.** (2019) How did amber get its aquatic insects? Water-seeking polarotactic insects trapped by tree resin. *Historical Biology*, DOI: 10.1080/08912963.2019.1663843 (<https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1663843>) IF: 1.489
- [26] **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 IF: 2.284
- [27] **Kriska, Gy.**; Malik, P.; Csabai, Z.; Horváth G. (2006) Why do highly polarizing black burnt-up stubble-fields not attract aquatic insects? An exception proving the rule. *Vision Research*, 46/26: 4382–4386. IF: 2.167*
- [28] **Kriska, Gy.**; Csabai, Z.; Boda, P.; Malik, P.; Horváth, G. (2006) 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*, 273/1594: 1667–1671. IF: 3.612*
- [29] **Kriska, Gy.**; Bernáth, B.; Horváth, G. (2007) Positive polarotaxis in a mayfly that never leaves the water surface: polarotactic water detection in *Palingenia longicauda* (Ephemeroptera). *Naturwissenschaften*, 94/2: 148–154. IF: 1.955*
- [30] **Kriska, Gy.**; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Horváth G. (2008a) Polarotaxis in tabanid flies and its practical significance. *Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica*, 18: 101–108*
- [31] **Kriska, Gy.**; Malik, P.; Szivák, I.; Horváth, G. (2008b) Glass buildings on river banks as "polarized light traps" for mass-swarming polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften*, 95/5: 461–467. IF: 2.126*
- [32] **Kriska, Gy.**; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G. (2009) Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology*, 55/12: 1167–1173. IF: 2.235*
- [33] Malik, P.; Hegedüs, R.; **Kriska, Gy.**; Horváth, G. (2008) Imaging polarimetry of glass buildings: Why do vertical glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics*, 47/24: 4361–4374. IF: 1.763*
- [34] Málnás, K.; Polyák, L.; Prill, É.; Hegedüs, R.; **Kriska, Gy.**; Dévai, Gy.; Horváth, G.; Lengyel, Sz. (2011) Bridges as optical barriers and population disruptors for the mayfly *Palingenia longicauda*: an overlooked threat to freshwater biodiversity? *Journal of Insect Conservation*, 15: 823–832. IF: 1.688*

- [35] Mizera, F.; Bernáth, B.; **Kriska, Gy.**; Horváth, G. (2001) Stereo videopolarimetry: measuring and visualizing polarization patterns in three dimensions. *Journal of Imaging Science and Technology*, 45/4: 393–399. IF: 0.541
- [36] Pereszlenyi, Á.; Horváth, G.; **Kriska, Gy.** (2017) Atypical feeding of woodpeckers, crows and redstarts on mass-swarming *Hydropsyche pellucidula* caddisflies attracted to glass panes. *Urban Ecosystems*, 20/6: 1203–1027. IF = 1.970
- [37] Robertson, B.; **Kriska, Gy.**; Horváth, V.; Horváth, G. (2010) Glass buildings as bird feeders: Urban birds exploit insects trapped by polarized light pollution. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 56/3: 283–293. IF: 0.474
- [38] Száz, D., Horváth, G., Barta, A., Robertson, B. A., Farkas, A., Egri, Á., Tarjányi, N., Rácz, G., **Kriska, Gy.** (2015) Lamp-lit bridges as dual light-traps for the night-swarming mayfly, *Ephoron virgo*: Interaction of polarized and unpolarized light pollution. *PLoS ONE*, 10/3: e0121194. IF: 3.234*
- [39] Száz, D.; Mihályi, D.; Farkas, A.; Egri, Á.; Barta, A.; **Kriska, Gy.**; Robertson, B.; Horváth, G. (2016) Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation*, 20/91: doi:10.1007/s10841-016-9897-3. IF: 1.431

A doktori mű alapjául szolgáló közlemények száma és összesített impakt faktora: 39 db, IF: 72,039

A doktori mű alapjául szolgáló első és utolsó szerzős közlemények száma és összesített impakt faktora: 18 db, IF: 35,73

*A doktori műben részletesen kifejtett közlemények száma és összesített impakt faktora: 16 db, IF: 41,387