

POLÁROS FÉNYCSAPDÁKKAL A POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS ELLEN

Pataklakó kérészek aktív védelme az aszfaltút ökológiai csapdájával szemben

XXXII. OTDK Biológia Szekció

Czinke László

III. Biológia BSc

Környezetoptika Laboratórium,
Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem



Budapest, 2013.

Témavezetők:

Dr. habil. Horváth Gábor
egyetemi docens, az MTA doktora

Környezetoptika Laboratórium,
Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Dr. habil. Kriska György
egyetemi adjunktus, tudományos
főmunkatárs

Biológiai Szakmódszertani Csoport,
Biológiai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem
MTA ÖK Duna-kutató Intézet

TARTALOMJEGYZÉK

1. Összefoglalás	2
2. Bevezetés	3
3. Vizsgálati módszerek	6
4. Eredmények	8
5. Elemzés	22
6. Köszönetnyilvánítás	27
7. Tételes szerzői hozzájárulás	28
7. Irodalom	29

1.Összefoglalás

Az aszfaltutak poláros fényszennyezése súlyos veszélyt jelent a világszerte egyre inkább fogyatkozó kérészek utódgenerációira, mert a megtévesztett rovarok a patakok mentén haladó aszfaltutakat a róluk visszavert erősen és vízszintesen poláros fény alapján ideális rajzási és petézési helyként azonosítják. Három kérészfaj aszfaltút melletti reprodukciós viselkedésének vizsgálata során megállapítottuk, hogy a poláros fényszennyezés csökkentésére irányuló, az aszfaltutat világosító és a felületét érdesítő eljárások alkalmazása sem tartja távol a kérészeket az aszfaltutaktól, miáltal ezek a mesterséges objektumok továbbra is a kérészek poláros ökológiai csapdáiként működnek. Választásos terepkísérletekkel igazoltuk ugyanakkor, hogy vízzel feltöltött poláros rovarcsapdák alkalmasak a petezésre készülő nőstények vonzására és petecsomóik begyűjtésére. Ily módon lehetőség nyílik arra, hogy a napi kérészrajzás befejeztével a csapda vizét a lerakott százezernyi/milliónyi kérészpetével együtt visszaöntsük a patakba, ami jelentős mértékben ellensúlyozhatja az aszfaltút kérész utódgenerációt károsító hatását.

A terepkísérleteinkben korábban használt fekete poláros rovarcsapdák helyett színeseket (vörös, kék, vagy zöld) kívántunk alkalmazni, mert ezek aszfaltúton való jobb láthatósága közlekedésbiztonsági szempontból fontos lehet. A megfelelő szint egy másik polarotaktikus rovarcsoporttal, a bögölyökkel folytatott terepkísérletek eredményei alapján választottuk ki. E kísérleteink során egyértelműen sikerült igazolnunk, hogy a vörös színű poláros rovarcsapdáink vonzották a legtöbb polarotaktikus bögöly egyedet.

A bögölyökkel folytatott előkísérletek eredményei alapján, a kérészes terepmunka során piros színű poláros tesztfelületeket és csapdákat alkalmaztunk, amelyek kérészvonzó hatását a hagyományosan használt fekete poláros tesztfelületekével és csapdákéval vetettük össze. Ennek során megállapítottuk, hogy az aszfaltutak szélén elhelyezett fekete és piros csapdák kérészvonzásában nem mutatkozott szignifikáns különbség, így a gyakorlatban a piros színű, az aszfaltúton közlekedők számára jól felismerhető, ezáltal közlekedésbiztonsági szempontból megfelelőbb poláros csapdák eredményesen alkalmazhatók a kérész utódgeneráció megmentése érdekében.

2. Bevezetés

Schwind (1985, 1991) és csoportunk kutatásai (Horváth and Zeil 1996, Horváth et al. 1998, 2007, Horváth and Varjú 2004, Horváth and Kriska 2008, Kriska et al. 1998, 2006, 2008, Wildermuth and Horváth 2005) kiderítették, hogy az Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Coleoptera, Heteroptera, Diptera és Trichoptera rendekbe tartozó, 300-nál is több vízirovarfaj szintén pozitív polarotaxissal, azaz a vízről tükröződő fény vízszintes polarizációja alapján keresi a vízi élőhelyeit. E polarotaktikus rovarokat azonban könnyen becsaphatja és magához vonzhatja minden olyan mesterséges felület, amely erősen és vízszintesen poláros fényt ver vissza: az ilyen felületek "szuper víznek" tűnnek a vizet kereső vízirovarok számára, ha a róluk visszavert fény lineáris polarizációfoka nagyobb, mint a vízről visszaverté (Horváth and Zeil 1996, Horváth et al. 1998, 2007, Horváth and Kriska 2008, Kriska et al. 1998, 2006, 2008, Malik et al. 2008, Wildermuth and Horváth 2005).

Az Umow-szabály szerint, minél sötétebb egy felület a spektrum egy adott tartományban, annál nagyobb a róla visszaverődő fény lineáris polarizációfoka. 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, hogy függőleges visszaverődési sík mellett a sima és fekete mesterséges felületek erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek. Vízirovarokkal folytatott választásos terepkísérletek és polarizációs mérések igazolták, hogy a nemfémes felületek közül az a legvonzóbb, melynek felületéről visszavert fény vízszintesen poláros és polarizációfoka a legnagyobb (Kriska et al. 2009).

Az elmúlt évtizedben végzett vizuális-ökológiai és környezetbiofizikai kutatások rámutattak az ökológiai fényszennyezés egy új formájára, a poláros fényszennyezésre (Horváth et al. 2009). Poláros fényszennyezés alatt szűkebb értelemben a sima (fényes) mesterséges felületekről visszaverődő, erősen és vízszintesen poláros fénynek a polarotaktikus vízirovarokra kifejtett káros hatásait értjük.

A poláros fényszennyezés egyik lehetséges ellenszere, hogy az azt okozó tükröző felületeket tegyük olyan durvává, hogy a róluk visszaverődő, 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 vizet kereső rovarok számára. Az Umow-szabály miatt pedig a fehér vagy világos színű felület kevésbé polarizálja a róla visszaverődő fényt, mint a sötét.

Bizonyos objektumok esetében, például a napelemtábláknál vagy ablaküvegeknél a funkciójukból kifolyólag nem lehet a felület érdeessé és/vagy világossá tételével csökkenteni ezek poláros fényszennyezését. Ezekben az esetekben jelenthet megoldást a poláros fényszennyezés csökkentésére a depolarizáló rácshatás alkalmazása (Horváth et al. 2010). Ha erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületeket egy vékony, akár 1-2 mm-es csíkokból álló, polarizálatlan fényt visszaverő (durvafelszínű és/vagy fehér) rácsmintával látunk el, akkor elvesztik a polarotaktikus rovarokra kifejtett vonzásukat. Minél sűrűbb a fényt depolarizáló fehér rács, annál kevesebb polarotaktikus rovar vonzanak az egyébként fényes és fekete felületrészek (Horváth et al. 2010). A repülő vízirovarok olyan vízszintesen poláros fényt tükröző felületeket keresnek az optikai környezetükben, melyek kiterjedése egy fajra jellemző küszöbértéknél nem kisebb. A küszöbértéknél nagyobb kiterjedésű, erősen és vízszintesen polarizáló felület vonzó a polarotaktikus rovarok számára. Ha azonban e felületet egy vékony depolarizáló ráccsal a küszöbértéknél kisebb kiterjedésű cellákra osztjuk, akkor e cellák egyenként már nem vonzóak, és amint kísérletekkel kimutatták, a vízirovarok nem képesek egységes felületként érzékelni e cellák összességét.

A kérészek másodrendű vízirovarok, imágóik szárazföldiek, míg lárváik vízben fejlődnek. A kifejlett nőstény egyedek a párzást követően petézés céljából keresik fel a vízfelszínt. Ebből következően az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek poláros ökológiai csapdái lehetnek a petéző rovaroknak, mivel az odavonzott nőstény imágók ezen felületekre rakott petéi kiszáradva elpusztulnak (Kriska et al. 1998, 2006, Robertson and Hutto 2006). A pataklakó kérészeket veszélyeztető poláros fényszennyező források közül világszerte elterjedtek a patakok mentén haladó aszfaltutak, amelyeket a megtévesztett rovarok ideális rajzási és petézési helyként azonosítanak (Kriska et al. 1998). Ezért is fontos, hogy a patak mellett haladó aszfaltút mint a pataklakó kérészek utódgenerációját jelentősen veszélyeztető poláros fényszennyező forrás hatását mérsékeljük, megszüntessük. Az aszfaltút esetében a poláros fényszennyezés csökkentésére elvileg lehetőséget ad, ha a kérészek előfordulási helyei közelében futó útszakaszok felületét a visszaverődő fényt depolarizáló tulajdonságúvá, azaz durvává és világossá tesszük, például fehér közúzalék (murva) aszfaltba való hengerlésével. Közlekedésbiztonsági okok miatt azonban a depolarizáló rácshatás nem alkalmazható, mert az aszfaltútra festett fehér rácsozat megzavarhatja az autóvezetőket.

Terepkísérleteink során egyrészt részletesen tanulmányoztuk 3 kérészfaj rajzási/peterakási viselkedését egy középhegyiségi patak mellett haladó murvázott aszfaltútnál abból a célból,

hogyan megállapítsuk, az útfelszín érdekesebbé, világosabbá tétele képes-e megszüntetni az aszfaltút poláros fényszennyezését. Másrészt pontforrásként működő poláros rovarcsapdákat kihelyezve az aszfaltút szélén vizsgáltuk, hogy a csapdák képesek-e a kérészeket magukhoz vonzani és a nőstényeket petézésre készíteni. Emellett terepkísérleteinkben szeretnénk volna összevetni a korábban használt fekete poláros rovarcsapdákat hatékonyságát színes (vörös, kék, vagy zöld) csapdákéval, mert ezek aszfaltúton való jobb láthatósága közlekedésbiztonsági szempontból fontos lehet. A megfelelő szint egy másik polarotaktikus rovarcsoporttal, a bögölyökkel folytatott terepkísérletek eredményei alapján kívántuk kiválasztani.

3. Vizsgálati módszerek

Az első választásos terepkísérletet egy lovardában végeztük Gödön (47° 43' N, 19° 09' E) 2009. július 1. és szeptember 5. között. Egy fekete, vörös, zöld és egy kék étolajjal töltött tálcát (50 cm × 50 cm) helyeztünk egymás mellé a főre az 1. ábra szerinti elrendezésben, a sorrendjüket minden nap napnyugtakor véletlenszerűen megváltoztattuk. A tálcák napnyugtától napkeltéig, valamint esős időben fekete műanyag lapokkal voltak letakarva. A tálcákban csapdázódott böglyöket 5 naponta gyűjtöttük be (1. táblázat), majd etil-alkoholban tartósítottuk a későbbi fajmeghatározáshoz.

A második választásos terepkísérletet Szokolyán végeztük egy lovasfarmon (47° 52' N, 19° 00'E) 2009. augusztus 17. és szeptember 13. között. Egy vörös, zöld és kék műanyag lapot (50 cm × 50 cm) fektettünk vízszintesen a főre, egymástól 2 méter távolságra (2. ábra). A lapok egy színtelen és szagtalan ragasztóval voltak bekenve (BabolnaBio® egérragacs), amelyek így csapdáztak minden rovar, ami leszállt a fényes tesztfelületekre. A 2. táblázatban feltüntetett napokon lettek megszámlálva azok a böglyök, melyek a ragadós felületeken csapdázódtak, majd ezután az összes böglyt eltávolítottuk a ragasztóból. Az eltávolítás során sokszor annyira megsérült a rovarok teste, hogy így már nem lehetett faj szinten meghatározni őket, ennek ellenére a családszintű meghatározás még lehetséges maradt, így biztosan böglyök voltak (Tabanidae: Diptera).

A kérészek rajzásvizsgálatát 2013-ban 05. 07. és 07. 20. között végeztük el 19-től 21 óráig (=local summer time = UTC + 2 h) Dömörkapu (47°40'N, 19°03'E) helység közelében körülbelül 30 km-re Budapesttől. A vizsgálati helyszín egy tipikus középhegységi vízfolyás, a Bükkös-patak környezetében volt, ahol késő tavaszi, nyár elejei időszakban minden évben jelentős kérészrajzás figyelhető meg (Andrikovics, 1991; Andrikovics and Kéri, 1991). Kutatásaink során 3 kérészfaj: *Ephemera danica* (Müll.), *Epeorus silvicola* (Etn.), *Rhithrogena semicolorata* (Curt.) szaporodási viselkedését tanulmányoztuk. A patakkel párhuzamosan 1-5 m-es távolságban aszfaltút fut (4. ábra), amely több alkalommal is keresztezi a patakot kisebb hidakon áthaladva. A patakparti égeres teljesen összeér a vízfolyás felett, ami miatt csak az aszfaltút által keresztezett patakrész fölött válik láthatóvá az égbolt. Az aszfaltút néhány méterrel a patak szintje felett fut, nyílt égbolt alatt. Az általunk vizsgált kb. 1 km-es útszakaszon az aszfalt durva felszínű és középszürke volt a felületébe hengerelt fehér közúzalék miatt. Az aszfaltúton megfigyelhetők voltak különböző méretű kitörések,

amelyekben esős időben napokig megmaradt a víz (4.B ábra). Terepmunkánk során a vizsgált 1 km-es útszakaszon folyamatosan figyelemmel követtük és feljegyeztük a kérészek rajzási viselkedését (4.C-D ábra, 3.A-D ábra).

A harmadik választásos terepkísérlet során vizsgáltuk két, különböző optikai sajátságú, vízzel telt négyszögletes tálca kérészvonzó képességét. A 75 cm-es oldalhosszúságú feketére és vörösre festett, vízzel telt műanyagtálcaikat egymástól 2 m távolságban helyeztük el az aszfaltút szélén és megfigyeltük a kérészek jellegzetes rajzási viselkedését ezek közelében. A tálcák helyzetét a kísérlet során 10 percenként felcseréltük.

A negyedik választásos terepkísérlet során piros és fekete poláros felületek kérészvonzó képességének összehasonlítására 1 m x 1 m négyszögletes fémfelületeket használtunk, amelyek pirosra és feketére voltak befestve (5.A-B ábra). A lapokat egymástól 2 m-es távolságban helyeztük el az út szélén, a helyüket 10 percenként megcseréltük. A rajzási időszakban megfigyeltük a kérészegyek viselkedését a felületeknél és 5 percenként fényképfelvételt készítettünk mindkét tesztfelületről a rajta és a közvetlenül fölötte elhelyezkedő kérészek számának későbbi meghatározása céljából. A kérészek azonosítását és megszámlálását a nagyfelbontású képek számítógépes vizsgálatával végeztük el, amely során nem csak a kérészek, hanem a náluk jóval kisebb táncoslegyek (Dolichopodidae) is azonosíthatók voltak (3. táblázat). A választásos kísérleteket minden esetben nyílt égbolt alatt végeztük el. A kísérletek kezdetén direkt napfény, majd napnyugta után a felülről érkező égboltfény világította meg a helyszínt. A kérészek viselkedését a tesztfelületeknél fényképekkel dokumentáltuk (6.A-D ábra).

Polarizációs mintázatok mérése: A terepkísérletekben használt poláros csapdák és tesztfelületek fénypolarizációs sajátságait képkalkuló polarimetriai eljárással mértük ki, amelynek részletes leírása Horváth és Varjú (2004) művében olvasható.

4. Eredmények

Az első választásos terepkísérlet eredményei alapján megállapítható volt, hogy a felhasznált négy különböző színű olajtálca közül a fekete, illetve a vörös színű csapdázta a legtöbb polarotaktikus bögölyt. Az előbbi volt a legvonzóbb a böglyök számára, hiszen több, mint kétszeresét fogta a vörös tálcának, míg a kék és zöld színűek csupán annak csak ötödét. A böglyök július közepétől augusztus közepéig mutatták a legnagyobb aktivitást.

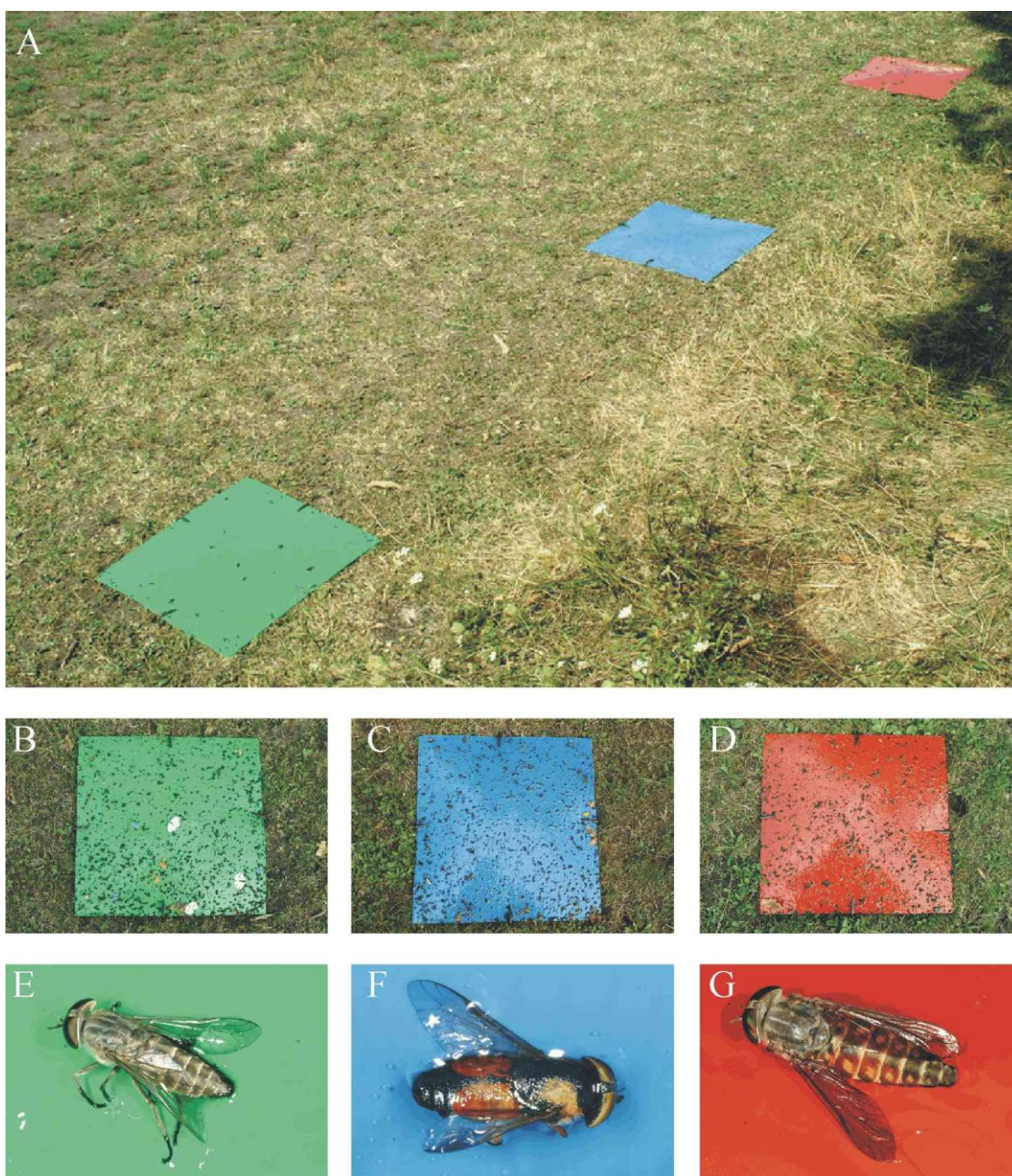


1. ábra: (A) A lovarda Gödön, ahol az első terepkísérlet történt. (B) Az étolajjal töltött kék, vörös, fekete és zöld tálcák elrendezése. (C) Esős időben és minden este/éjszaka a tálcák fekete műanyag lapokkal voltak lefedve és cserepekkel lesúlyozva.

dátum (2009)	olajtalcák			
	kék	zöld	vörös	fekete
július 1-5.	1	1	2	5
július 6-10.	2	3	4	7
július 11-15.	1	2	3	9
július 16-20.	0	1	7	13
július 21-25.	3	3	6	15
július 26-31.	3	3	8	17
augusztus 1-5.	4	6	10	18
augusztus 6-10.	3	4	8	16
augusztus 11-15.	3	2	7	14
augusztus 16-20.	2	3	5	12
augusztus 21-25.	2	1	4	8
augusztus 26-31.	1	1	3	9
szeptember 1-5.	0	1	3	7
összesen	25	31	70	150

1. táblázat: A kék, zöld, vörös és fekete olajtalcákban csapdázódott bögölyök száma az 1. gödi terepkísérlet során (1. ábra).

A második választásos terepkísérlet eredményei alapján megállapítható volt, hogy a színes (vörös, zöld, kék) ragacsos felületek közül a vörös volt a legvonzóbb a pozitív polarotaxissal rendelkező bögölyök számára, ezután a zöld színű felület következik az előzőnek kevesebb, mint harmadával. A legkevesebb rovar a kék ragacsos felületű lap csapdázta.

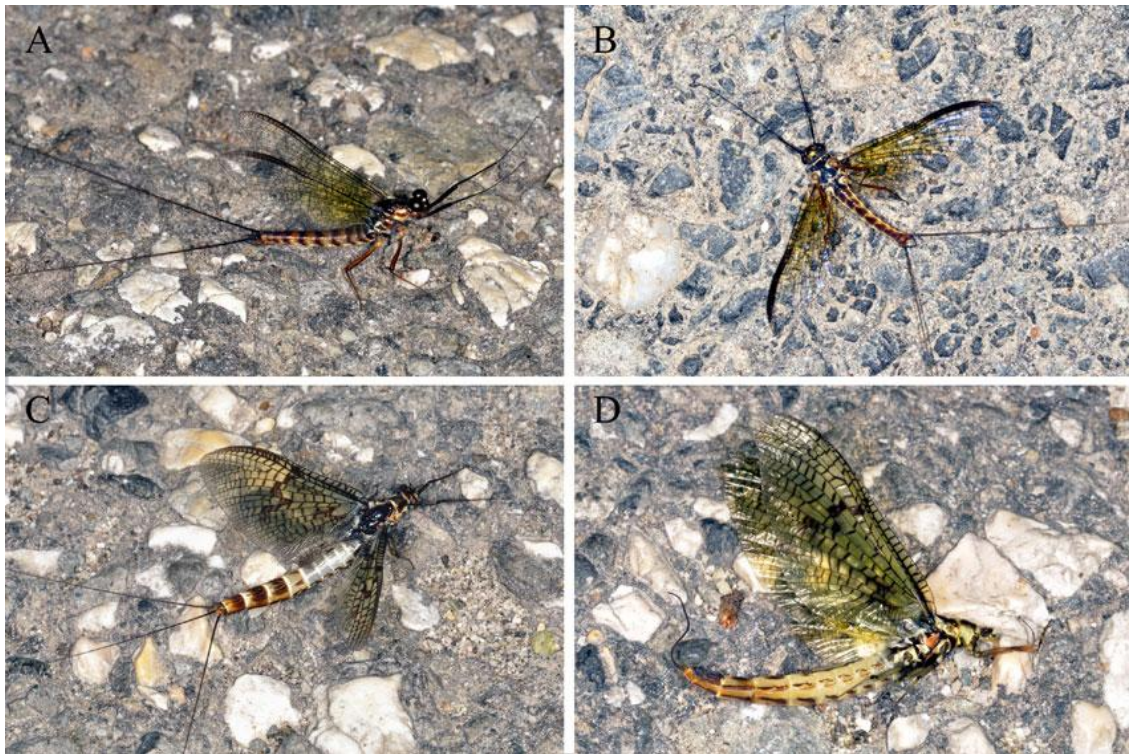


2. ábra: (A) A beragasztózott zöld, kék és vörös műanyag lapok elrendezése a második terepkísérlet során Szokolyán. (B-D) A ragasztós tesztfelületek számos ízeltlábút csapdáztak, többek között sok böglyöt is. (E-G) Példák a böglyökre, amelyek csapdázódtak a tesztfelületeken.

dátum (2009)	ragasztós műanyag lapok		
	zöld	kék	vörös
augusztus 17.	7	2	14
augusztus 18.	87	17	148
augusztus 24.	40	23	231
augusztus 26.	4	5	69
augusztus 28.	11	3	48
szeptember 1.	6	2	41
szeptember 4.	20	1	80
szeptember 8.	6	4	15
szeptember 13.	3	2	44
összesen	184	59	690

2. táblázat: A zöld, kék és vörös ragasztós tesztfelületeken csapdázódott böglyök száma második terepkísérlet során (2. ábra).

A kérészek rajzásvizsgálatának eredményei: A vizsgált útszakasz felett 19 órától kezdődően egyre nagyobb számban jelentek meg a *Epeorus silvicola* és a *Rhithrogena semicolorata* egyedek mintegy 8-10 m-es magasságban. A kérészek egyenletesen oszlottak el az aszfaltút felett egyfajta laza rovarcsóvát, amely pontosan követte az aszfaltút lefutását. Az egyes rovarok többnyire függőleges irányú mozgást végeztek lefelé és fölfelé az aszfaltút fölött kialakult rajban, ezáltal nagyjából ugyanabban a légtérben tartózkodtak. A hím egyedek miután felismerték a nőstényeket az égbolt világos hátterénél megpróbálták kopulálni velük. Az aszfaltút felett hosszan elnyúló kérészraj az idő múlásával egyre jobban lefelé ereszkedett, míg a rajzás végén már közvetlenül az aszfaltút fölött tartózkodtak a rovarok. Ekkor egyre több egyed le is szállt az aszfaltútra (3.A-D ábra), ahol a nőstények sokszor lerakták a petecsomóikat.



3. ábra: Kérészek az aszfaltúton. (A-B) Élő és elpusztult hím *Epeorus silvicola* egyedek. (C-D) Élő és elpusztult nőstény *Ephemera danica* egyedek.

A rajzás végén közvetlenül az aszfaltút fölött röpködő kérészek elsősorban az aszfaltút sötétebb foltjai és az aszfaltúton kialakult pocsolyák fölött csoportosultak, ezért a nőstények petézése is leginkább ezeken a helyeken volt megfigyelhető. Az esővízpocsolyák erős kérészvonzó hatását jól szemléltetik azok a rajzás után készült fotók, amelyeken megfigyelhetők a vízben elpusztult kérészegyedek (4.C-D ábra).



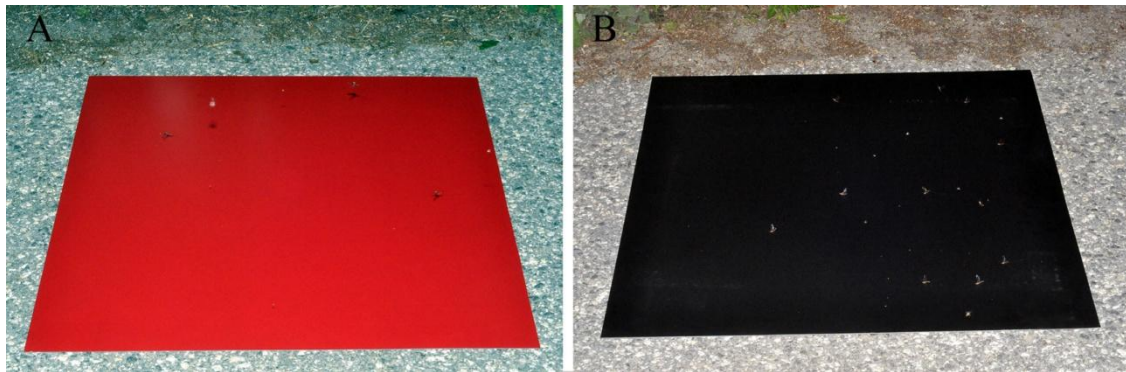
4. ábra: (A) A terepvizsgálatok helyszíne. Aszfaltút a Bükkös-patak mentén. (B) Esővíztócsa az aszfaltút szélén. (C) Az esővíztócsába belepusztult álkérész (*Nemoura cinerea*) kérészek (hím és nőstény *Baetis rhodani*). (D) Peterakás közben az esővíztócsába fulladt nőstény *Rhithrogena semicolorata*.

A kérészek a rajzás teljes ideje alatt az aszfaltút fölött maradtak, még időlegesen sem jelentek meg kérész rajok például az utat kísérő bokrok fölött. A nagyméretű *Ephemera danica* egyedek, túlnyomórészt nőstények, 20 óra körül jelentek meg az aszfaltút fölött 2-3 m magasan repülve. Az előző két faj egyedeitől eltérően az *E. danica* nőstények többsége a patakot kísérő aszfaltút fölött a patak folyásirányával szemben repült mindaddig, amíg egy erősen és vízszintesen poláros fényt reflektáló felülethez (pl. sötétszínű gépkocsi tető, nagyobb kátrányfolt, poláros tesztfelület az aszfaltúton) nem ért, amelyre leszállva azonnal lerakta petecsomóját (6.C-D ábra). A megfigyelt jelenség arra utal, hogy az *E. silvicola* és a *R. semicolorata* egyedekkel szemben az *E. danica* esetében az aszfaltút nem működött rajzásmarkerként, hanem a felszínéről visszavert vízszintesen poláros fény révén vízfelszínt imitálva a petézésre készülő nőstény egyedeket vonzotta.

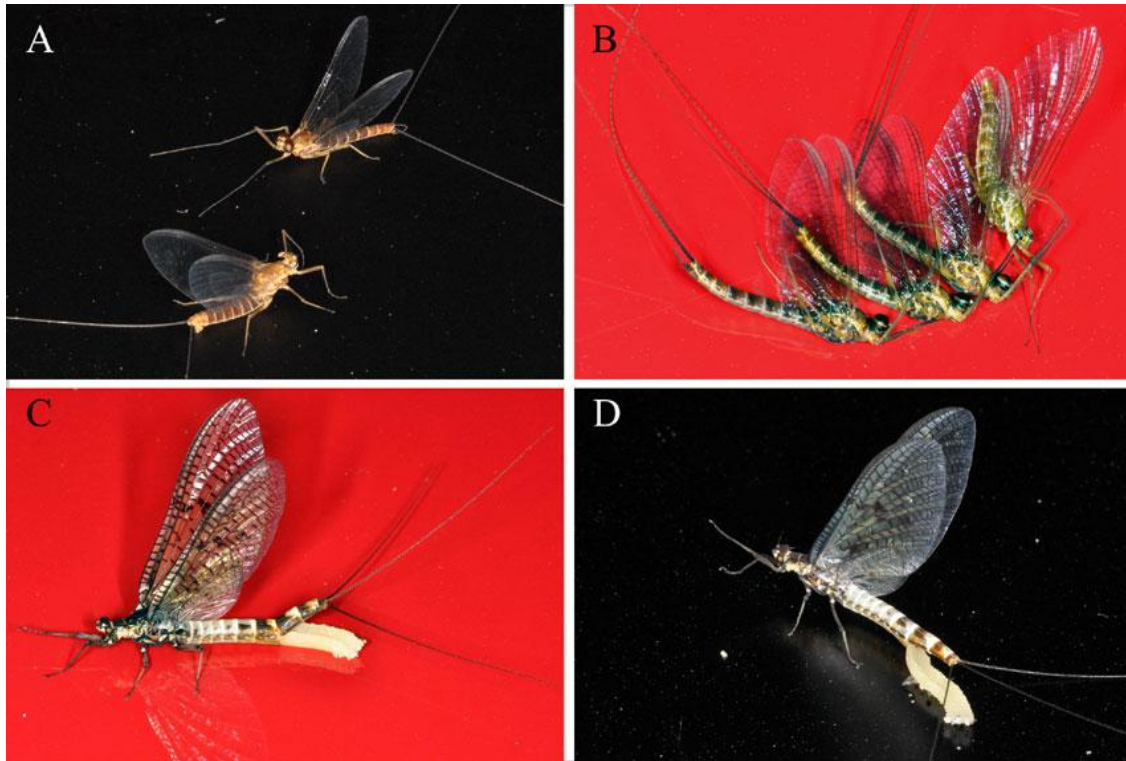
A harmadik választásos terepkísérlet eredményei: Az aszfaltút szélén elhelyezett feketére és pirosra festett, vízzel feltöltött tálcák egyaránt erősen vonzották az aszfaltút felett rajzó *E. silvicola* és *R. semicolorata* egyedeket. A rajzás második felében az aszfaltút felszínéhez közelítő kérészek a vízzel telt tálcák fölött csoportosultak és a nőstények ezek

vizébe rakták le petéiket. Az aszfaltút fölött repülő *E. danica* nőtények esetében is sikerült megfigyelnünk a nőtények leszállását és petézését a piros és fekete tálcák vízfelszínén. A piros és fekete tálcák kérészvonzó képességében szemmel látható különbség nem volt megfigyelhető.

A negyedik választásos terepkísérlet eredményei: A fényes fekete és fényes piros tesztfelületekről készült fényképek (5.A-B ábra) kiértékelése alapján megállapítható volt, hogy ezek a körülöttük levő aszfaltúttal szemben erős vonzóhatást gyakoroltak a kérészekre. A tesztfelületek körül elhelyezkedő aszfaltfelszínen nem tudunk leszálló és petező egyedeket megfigyelni. A piros és fekete felületek felett rajzó kérészek leszámlálása alapján nem lehetett szignifikáns különbséget megállapítani ezek kérészvonzó képességében (3. táblázat).



5. ábra: (A-B) A terepkísérletben 1 m x 1m-es fényes piros és fényes fekete tesztfelületek az aszfaltúton.

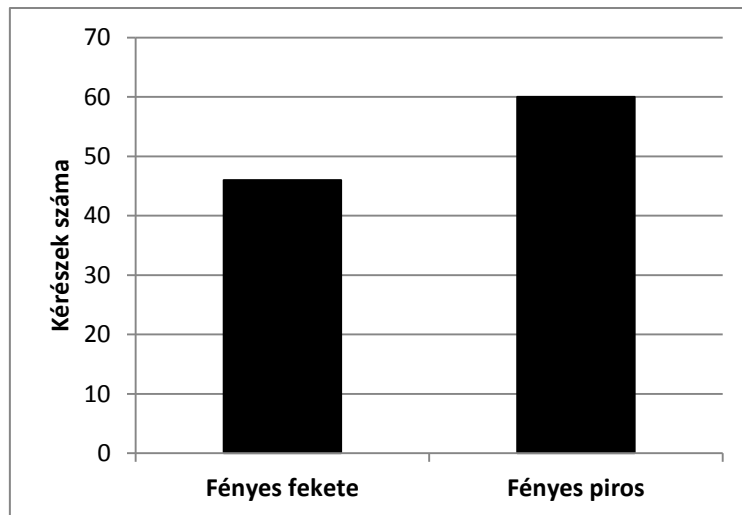


6. ábra: Kérészek a tesztfelületeken. (A) Petéző nőstény és hím *R. semicolorata* egyedek a fényes fekete tesztfelületen. (B) Egy nőstény és három hím *R. semicolorata* egyed a fényes piros tesztfelületen. (C-D) Petéző *E. danica* nőstények a piros és fekete tesztfelületen.

A 3. táblázaton a negyedik választásos terepkísérlet eredményei láthatók, amelyek a fényes fekete és fényes piros tesztfelületekre szállt kérészek és táncoslegyek számait tartalmazzák. A tesztfelületeket mind a kérészek, mind a táncoslegyek jobban preferálták az aszfaltútnál. Az adatok alapján megállapítható, hogy a fényes fekete és fényes piros felületekre leszállt kérészek és táncoslegyek száma között nem mutatkozik szignifikáns különbség (7. ábra). Ezek alapján a gyakorlatban való alkalmazás során a piros színű, az aszfaltúton közlekedők számára jobban felismerhető, így közlekedésbiztonsági szempontból megfelelőbb poláros csapdák eredményesen alkalmazhatók a kérészek utódgenerációinak megmentése érdekében.

No.	Fényes fekete		Fényes piros		No.	Fényes fekete		Fényes piros	
	K	T	K	T		K	T	K	T
1.	2	1	0	0	51.	1	1	0	1
2.	3	1	1	1	52.	0	5	1	4
3.	0	3	4	3	53.	1	3	0	5
4.	0	5	1	3	54.	1	3	0	6
5.	0	2	3	2	55.	0	6	0	6
6.	0	1	2	3	56.	1	4	0	9
7.	0	1	1	4	57.	0	6	2	10
8.	0	3	0	3	58.	0	5	0	7
9.	0	2	1	1	59.	0	6	0	6
10.	1	6	0	2	60.	1	4	0	4
11.	2	6	6	1	61.	1	0	3	4
12.	3	2	2	6	62.	0	3	1	2
13.	0	1	0	4	63.	0	7	0	2
14.	0	0	0	4	64.	0	7	0	2
15.	0	4	2	1	65.	0	8	0	4
16.	0	1	0	0	66.	0	1	0	1
17.	3	1	0	6	67.	1	6	0	6
18.	3	0	1	5	68.	2	4	0	6
19.	1	1	0	6	69.	0	3	0	8
20.	0	2	0	5	70.	1	5	3	15
21.	2	9	2	9	71.	0	3	1	10
22.	0	6	0	7	72.	1	7	1	4
23.	3	9	0	7	73.	2	14	3	9
24.	4	11	1	8	74.	1	10	1	8
25.	0	6	1	9	75.	1	11	1	6
26.	0	6	0	6	76.	0	8	0	8
27.	0	7	2	10	77.	0	7	2	6
28.	0	10	0	5	78.	0	8	0	4
29.	1	4	2	3	79.	0	7	0	11
30.	1	5	0	3	80.	0	4	0	8
31.	0	1	1	5	81.	0	7	0	10
32.	0	1	0	8	82.	0	6	0	9
33.	1	3	0	13	83.	0	6	0	11
34.	1	0	0	11	84.	0	6	0	11
35.	0	6	1	7	85.	0	4	0	7
36.	0	12	1	5	86.	0	6	0	15
37.	0	6	1	7	87.	0	2	0	10
38.	0	4	0	3	88.	0	4	0	6
39.	0	5	0	6	89.	0	3	0	6
40.	0	6	1	7	90.	0	5	1	5
41.	0	8	0	7	91.	0	5	0	7
42.	0	6	0	7	92.	0	6	0	8
43.	0	2	0	9	93.	0	2	0	7
44.	0	6	1	5	94.	0	4	1	7
45.	0	7	0	11	95.	0	4	1	7
46.	0	6	0	11	96.	2	14	0	6
47.	0	4	0	11	összesen	46	461	60	604
48.	0	2	0	11	%	43.4	43.29	56.6	56.71
49.	0	7	0	10	átlag	0.48	4.80	0.63	6.29
50.	0	5	0	9	szórás	0.89	2.96	1.05	3.26

3. táblázat: A kérészek (K) és a táncoslegyek (T) száma, amelyek a fényes fekete és fényes piros tesztfelületeken vagy közvetlenül felette tartózkodtak az egyes kísérletek alatt készített fényképek rögzítésekor. No.: a kísérlet megismétlésének száma, %: a kérészek és a táncoslegyek százalékos aránya.



7. **ábra:** A kérészek száma, amelyek a fényes fekete és a fényes piros tesztfelületekre szálltak.

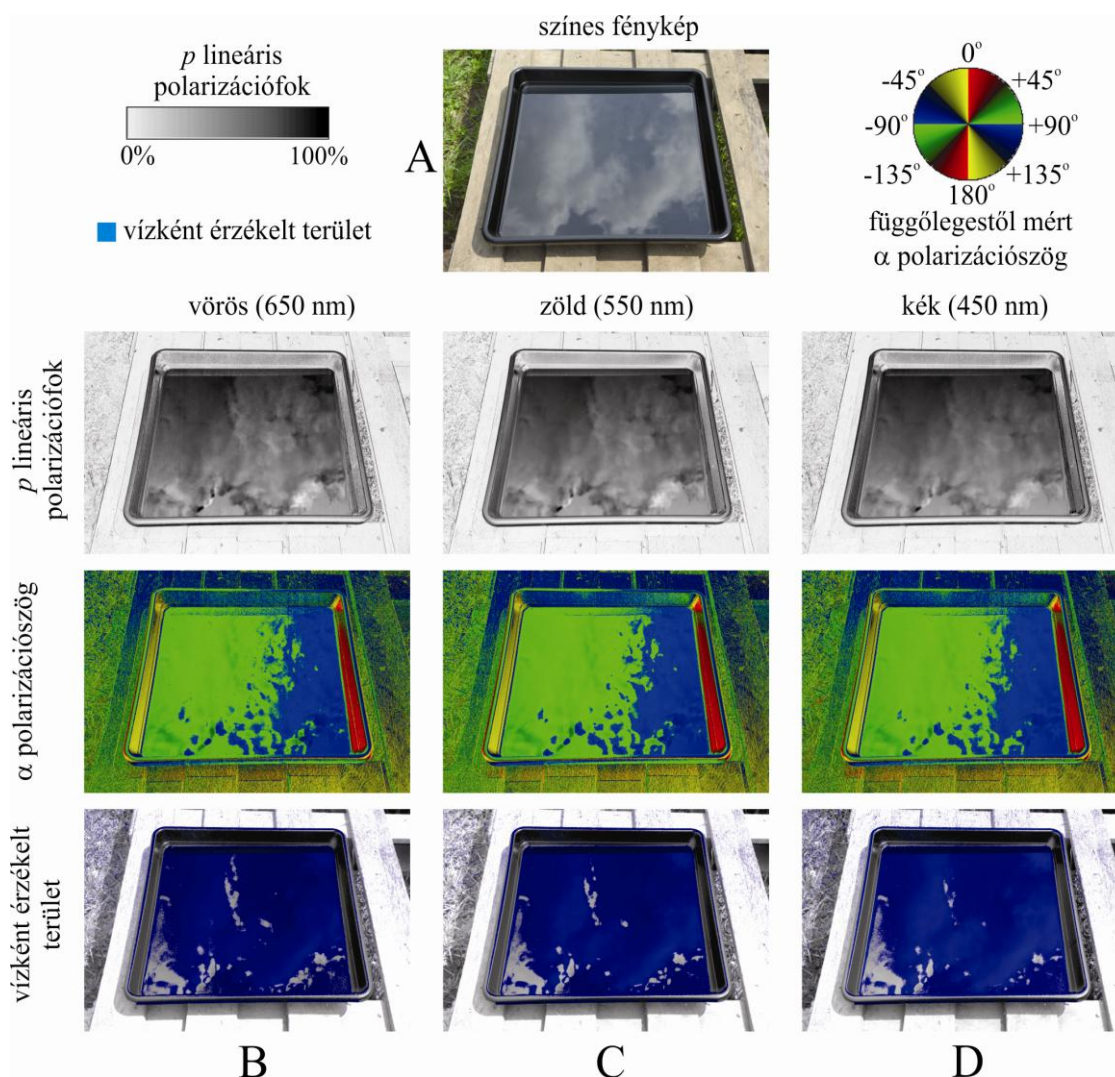
Polarizációs mintázatok mérése:

Az egyes felületekről visszavert fény polarizációjának meghatározásához digitális képalkotó polarimétert használtunk. A berendezés egy 10 megapixeles felbontású Pentax K10 digitális fényképezőgépből, illetve a gép objektíve elé helyezett, forgatható tárcsára felszerelt lineáris polárszűrőből (HOYA, 52 mm, PL-CIR, Japan) állt. A polárszűrő három előre meghatározott áteresztési irányban rögzíthető, amelyek a következők: $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$.

Mérésenként három egymás után elkészített felvételt rögzítettünk. A képek a polárszűrő három különböző áteresztési iránya mellett készültek a forgótárcsa soron következő állásába forgatásával. A képek készítése közben történő elmozdulás, valamint az egyes képek bemozdulásának elkerülése érdekében háromlábú állványt használtunk a stabil rögzítéshez.

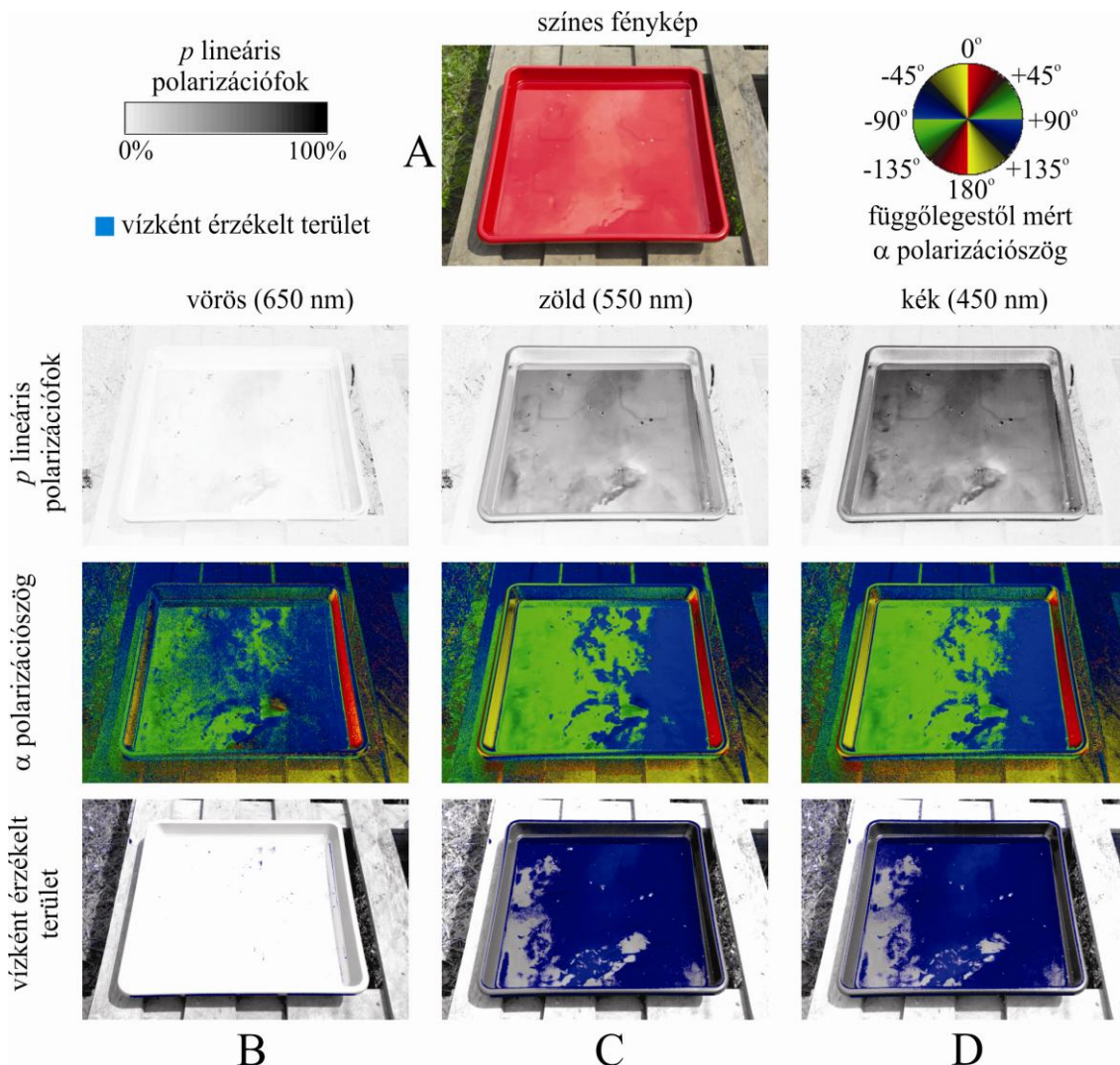
A különböző felületek polarizációs mintázatait a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában vettük fel.

A 8. ábrán a fekete olajtálca egyaránt lineáris és közel vízszintesen poláros fényt ver vissza (polarizációfok: $p > 70\%$, a függőlegestől mért polarizációs szög: $75^\circ < \alpha < 105^\circ$) a látható spektrum mindhárom vizsgált tartományában. Ez alapján megállapítható, hogy az ilyen fény a polarotaktikus bögölyök számára vízfelületként értelmezhető, így a fekete olajtálca vizuálisan megtévesztheti őket.



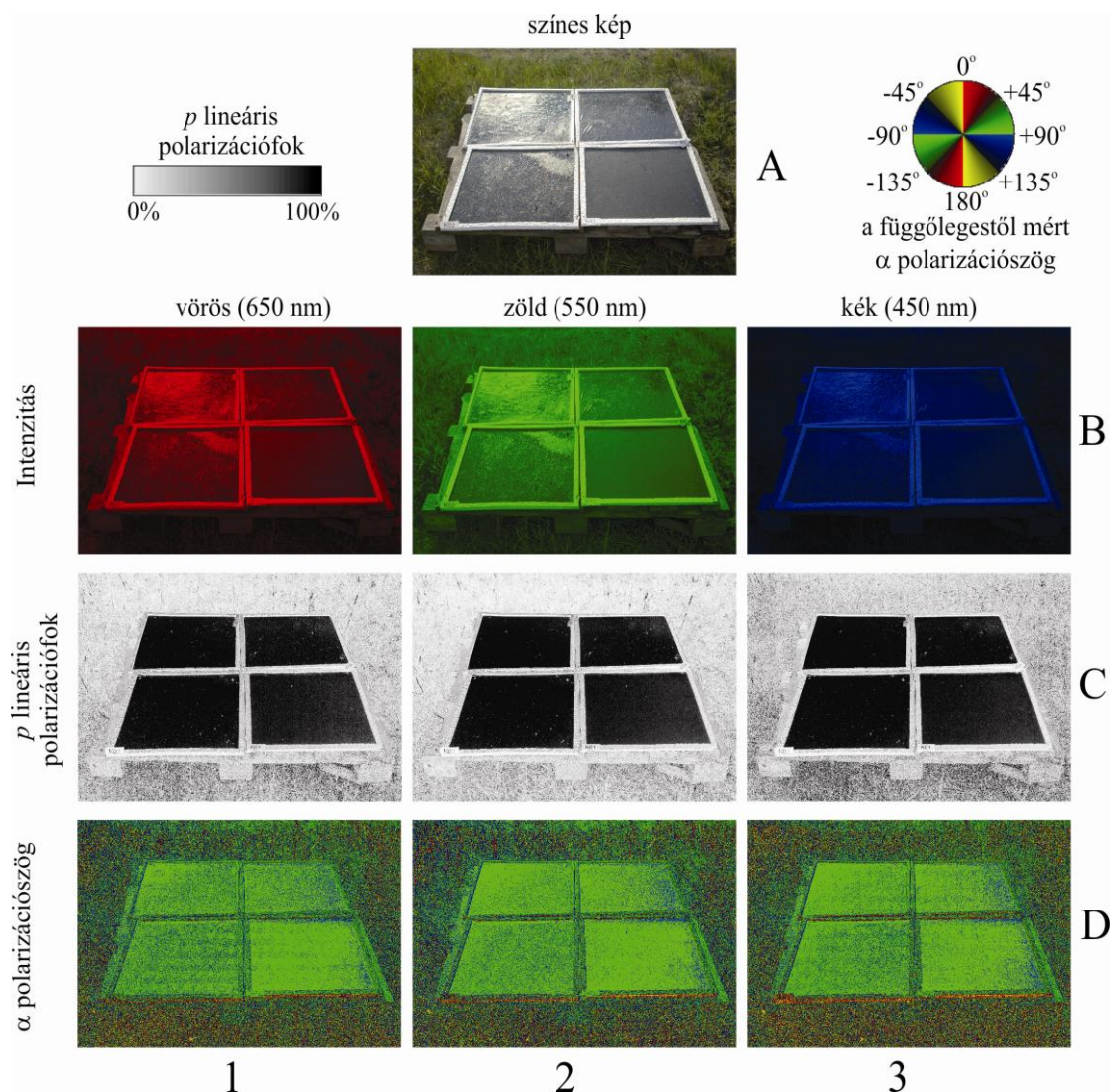
8. ábra: A fekete olajtálcáról készült színes fotó és a képalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A második sorban a p lineáris polarizációfok, a 3. sorban az α polarizációs szög (függőlegetől mérve az óramutató járása szerint), a következő sorban pedig a pozitív polarotaxisú rovarok által vízként detektált felület nagysága látható (a visszavert fény tulajdonságai: $p > 70\%$, $75^\circ < \alpha < 105^\circ$).

A 9. ábrán a vörös olajtálca felületének polarizációs mintázata látható. Megfigyelhető hogy egyaránt lineáris és közel vízszintesen poláros fényt ver vissza (polarizációfok: $p > 70\%$, a függőlegetől mért polarizációs szög: $75^\circ < \alpha < 105^\circ$) a látható spektrum zöld és kék vizsgált tartományában. A vörös tartomány esetében megjegyzendő, hogy a vízi rovarok többsége nem rendelkezik vörös színre érzékeny fotoreceptorokkal, így az ilyen felületekről visszavert poláros fényt gyakorlatilag úgy érzékelik, mintha fekete felületről verődne vissza. Ez alapján megállapítható, hogy az ilyen fény a polarotaktikus bögölyök számára vízfelületként értelmezhető, így a vörös olajtálca vizuálisan megtévesztő lehet a számukra.



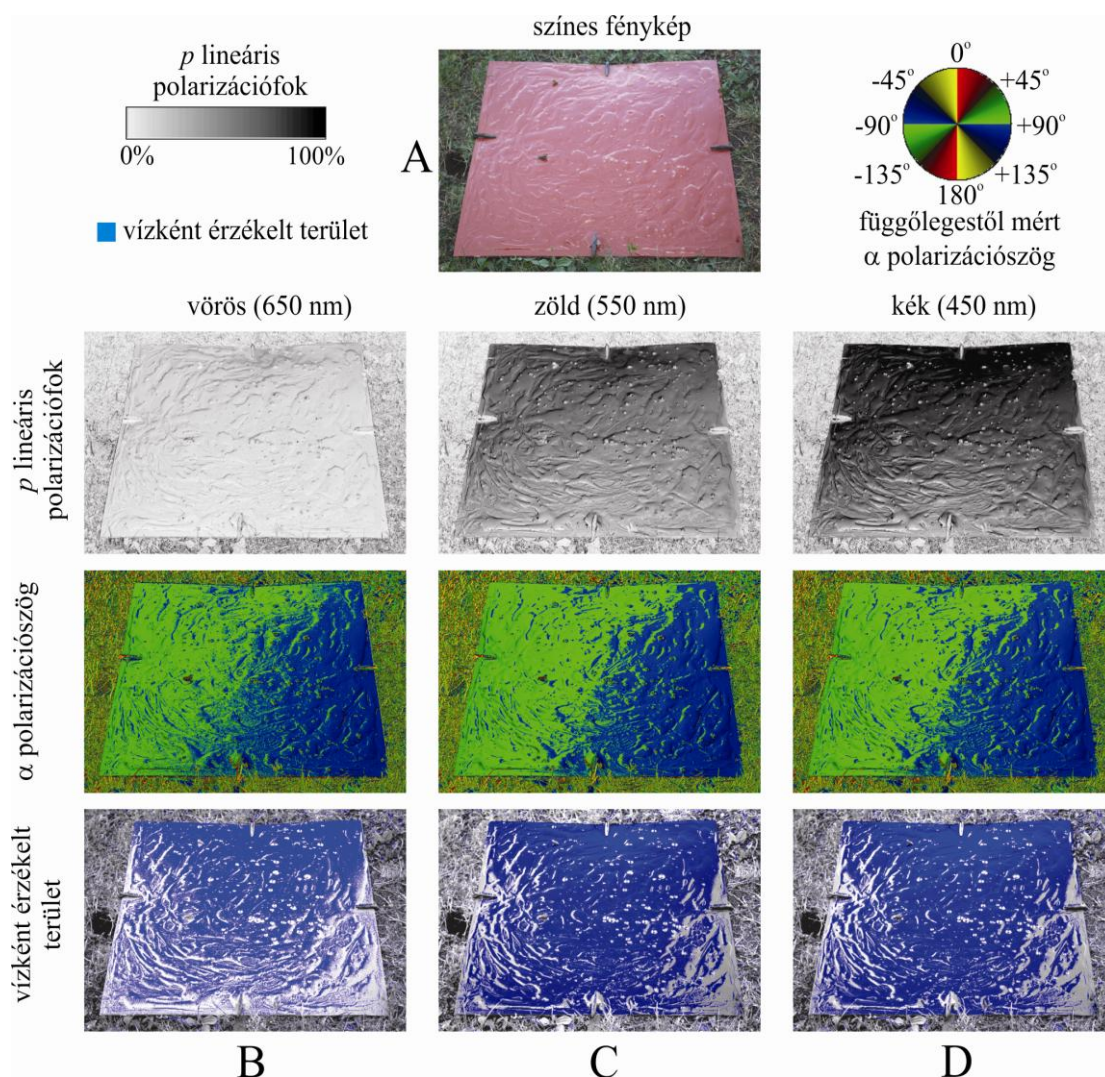
9. ábra: A vörös olajtálcáról készült színes fotó és a képkalkoló polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A második sorban a p lineáris polarizációfok, a 3. sorban az α polarizációs szög (függőlegetől mérve az óramutató járása szerint), a következő sorban pedig a pozitív polarotaxisú rovarok által vízként detektált felület nagysága látható.

A 10. ábrán a fekete, beragasztózott műanyag lapok polarizációs mintázata látható. Leolvashatjuk, hogy a felület a spektrum mindhárom tartományában egyaránt lineáris és közel vízszintes poláros fényt ver vissza (polarizációfok: $p > 80\%$, a függőlegetől mért polarizációs szög: $75^\circ < \alpha < 105^\circ$). Ez alapján megállapítható, hogy az ilyen fény a polarotaktikus bögölyök számára vízfelületként értelmezhető, így a fekete műanyag lap vizuálisan megtévesztheti őket.



10. ábra: A fekete, beragasztózott műanyag lapokról készült színes fotó és a képkalkuló polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A 2. sorban az intenzitás, a 3. sorban p lineáris polarizációfok, a következő sorban pedig az α polarizációs szög (függőlegetől mérve az óramutató járása szerint) látható.

A 11. ábrán a vörös, beragasztózott műanyag lap polarizációs mintázata látható. Látható, hogy a felület nagyrészt lineáris és közel vízszintes poláros fényt ver vissza (polarizációfok: $p > 70\%$, a függőlegetől mért polarizációs szög: $75^\circ < \alpha < 105^\circ$) a látható spektrum mindhárom vizsgált tartományában. Ez alapján megállapítható, hogy az ilyen fény a pozitív polarotaktikus rovarok számára vízfelületként értelmezhető, így a vörös műanyag lap vizuálisan megtévesztheti őket.



11. ábra: A vörös, beragasztózott műanyag lapról készült színes fotó és a képkalkoló polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A 2. sorban a p lineáris polarizációfok, a 3. sorban az α polarizációs szög (függőlegestől mérve az óramutató járása szerint), a következő sorban pedig a pozitív polarotaxisú rovarok által vízként detektált felület nagysága látható.

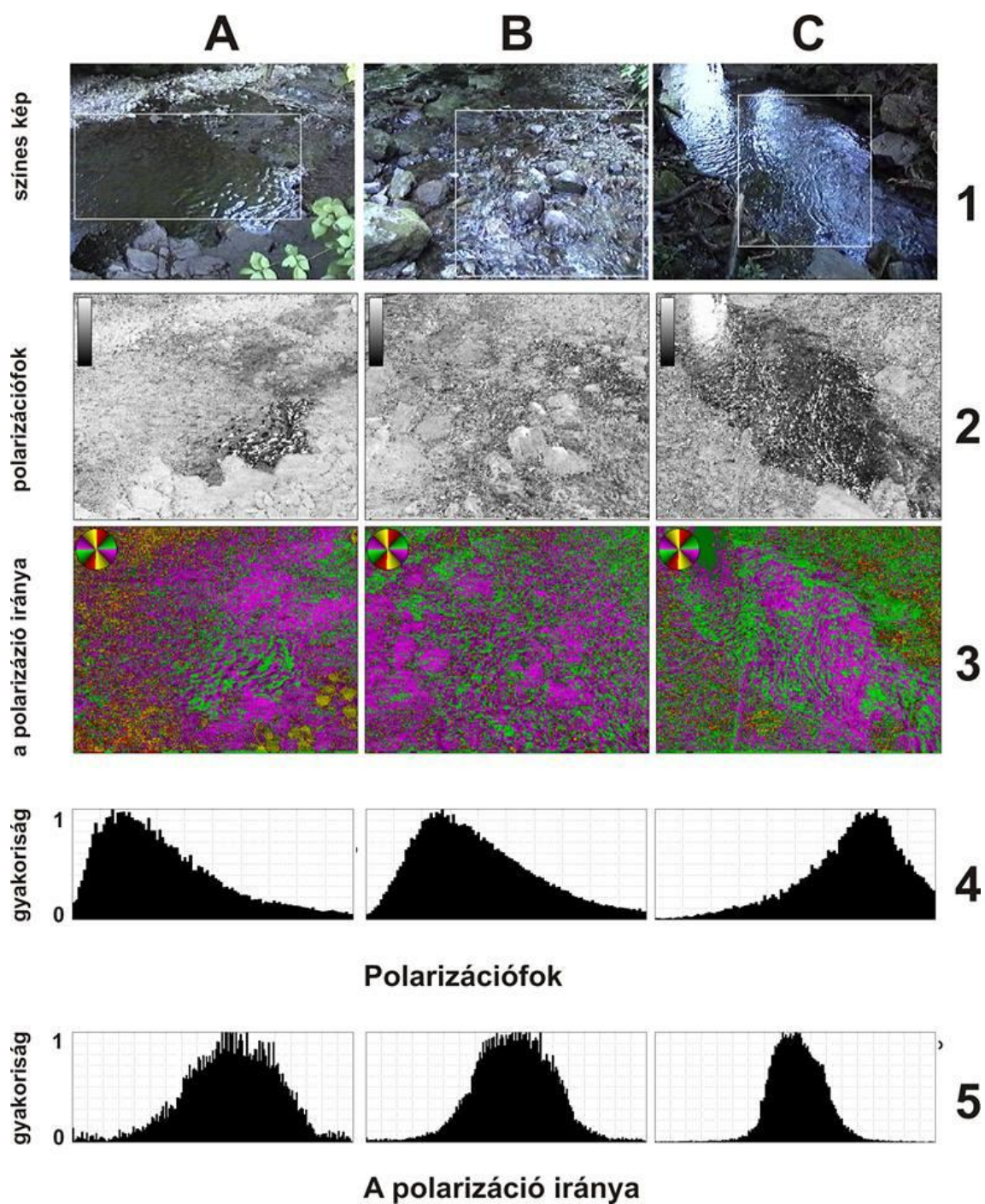
5. Elemzés

A 12. ábrán a Bükkös-patak három szakaszáról készített fénykép látható, amelyeknél korábban megtörtént a polarizációs mintázat kiértékelése (G. Kriska, G. Horváth and S. Andrikovics 1998). A víz felszíne mindhárom patakrésznél finoman fodrozódó. A korábbi években is mindegyik szakaszon nagy számban volt megfigyelhető a kérészimágók kikelése és rajzása, valamint a párzás és a nőstények peterakása.

Az első patakrésznél a vízfelületet beárnyékolják a fák lomkoronái, így az égboltfény csak a lombok között átszűrődve fentről és jobb oldalról világította meg foltokban a lassan áramló víz felszínét. Az ábrán megfigyelhető, hogy a lineáris polarizációfok azokon a részekén volt magas, ahol a fény megvilágította a vizet, míg azok a területek, amik árnyékban voltak – így a vízpart és a vízfelület jelentős része – gyakorlatilag polarizálatlan fényt vert vissza. A hullámváz miatt a polarizációfok és a polarizáció iránya erősen változó, a reflektált fény iránya megközelítőleg vízszintes, azonban ettől erősen különböző, függőleges irányhoz közelítő részek is megfigyelhetők.

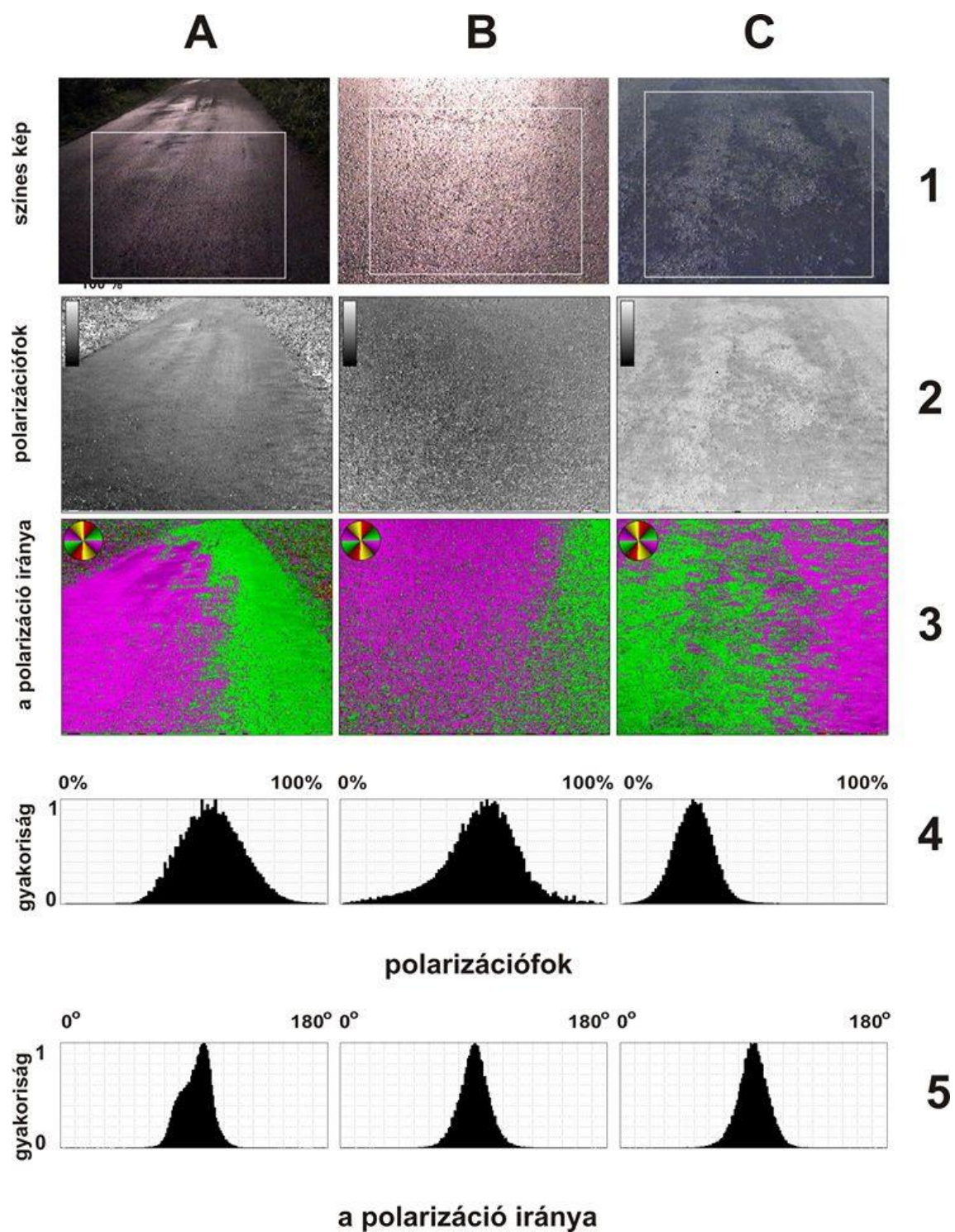
A második patakrésznél a víz lassú folyású, felszínét nagyméretű kövek szakítják meg. Az égbolt fénye a vízfelületet felülről világította meg. Az ábrán látható, hogy a polarizációfok ennél a szakasznál viszonylag alacsony a hullámváz miatt, valamint azért, mert a kövek felszínére érkező fény diffúzan, polarizálatlanul verődött vissza. A reflektált fény iránya az első partszakaszhoz képest nagyobb arányban közelített a vízszintes felé.

A harmadik patakészlet felett fák húzódtak, azonban a víz felületét az égbolt fénye megvilágította oldalról. A grafikonról leolvasható, hogy az előzőekhez képest a visszaverődő fény polarizációfoka magasabb, azonban mind ez, mind pedig a polarizáció iránya változó a vízfelszín fodrozódása miatt.



12. ábra: A három különböző patakszakaszról készült színes fotó és a képkalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A 2. sorban a polarizációfok, a 3. sorban a polarizáció iránya, a következő sorokban pedig a a polarizáció fokának és irányának eloszlása látható.

A 13. ábrán a patak mentén húzódó aszfaltút három különböző szakaszának fényképe látható. Az utak felett nem záródott a környező fák lombkoronája, ezért az égbolt fénye a teljes felületet megvilágította. Mindhárom aszfaltszakasz fölött megfigyelhető volt a kérészek rajzása, valamint a párzás és a nőstények aszfaltra történő petézése is. Ha elemezzük az ábrát a polarizáció foka és iránya alapján, valamint ezt összehasonlítjuk az előző ábrán látható Bükkös-pataknál mért értékekkel (12. ábra), megállapíthatjuk, hogy az aszfaltút által visszavert fény polarizációfokának és polarizációs irányának grafikonjai keskeny alapú, a polarizációfoka - annak ellenére, hogy a felületbe fehér kőzúzalék van hengerelve és világosabb foltok is láthatók rajta - viszonylag magas, a visszaverődő fény polarizációjának iránya pedig alapvetően vízszintes irányú. Az ábrák alapján megállapítható, hogy az aszfaltút a polarotaktikus kérészek számára vizuálisan megtévesztő lehet.



13. ábra: A három különböző aszfaltszakaszról készült színes fotó és a képalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázatok. A 2. sorban a polarizációfok, a 3. sorban a polarizáció iránya, a következő sorokban pedig a polarizáció fokának és irányának eloszlása látható.

Az általunk vizsgált három kérészfaj esetében sikerült kimutatnunk, hogy egy középhegységi patak mellett futó aszfaltút akkor is vonzza a patakból kirajzó kérészeket, ha annak erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző felszínébe a polarizációt csökkentő fehér közúzalékot hengerelnek. Korábbi kutatási eredmények (Kriska et al. 1998) és újabb tapasztalataink alapján feltételezhető, hogy az aszfaltút különböző sajátságai folytán ideális rajzasmarkere egyes kérészfajoknak (pl. *E. silvicola*, *R. semicolorata*). Ezen tulajdonságok közül elsősorban az aszfaltfelszín polarizációs mintázatát, a környezetében kialakuló magasabb hőmérsékletet és a felette megjelenő nyílt égboltot említhetjük meg. A poláros fényt reflektáló aszfaltút jól felismerhető a polarotaktikus kérészek optikai környezetében, a magasabb hőmérséklet hosszabb rajzásperiódust biztosít, a nyílt égbolt pedig lehetővé teszi a nemek egymásra találását. A rajzás előrehaladtával a kérészek egyre jobban megközelítik az aszfaltfelszínt, ahol a petőzésre készülő nőtényekre erős vonzóhatást fejthetnek ki az út sötétebb bitumenfoltjai, az esővízpocsolyák és a terepkísérletben használt poláros tálcák és tesztfelületek (3. A-D ábra, 4.C-D ábra, 6.A-D ábra), és az út szélén parkoló sötét színárnyalatú gépkocsik (Kriska et al. 2006). Ennek eredményeként a nőtények nagy számban leszállnak ezek felszínére, és lerakják petéiket (4. D ábra, 6.A, C-D ábra). A lerakott peték rövid idő alatt elpusztulnak, miáltal sérül a kérészek utódgenerációja. Az *E. danica* faj esetében az aszfaltút nem szerepelt rajzasmarkerként, felette csak magányosan repülő, többségében nőtény egyedek jelentek meg. Ezek hosszasan, gyakran több száz méteren keresztül repültek az út fölött, mindaddig, amíg el nem tűntek a szemünk elől, vagy le nem szálltak egy polárosabb felületen, és le nem rakták a petecsomójukat (6. C-D ábra). Az aszfaltút feletti repülés az utat kísérő patak folyásirányával szemben történt, ami megerősíti azt a feltételezést, hogy az út poláros jelét követve az *E. danica* esetében egyfajta kompenzációs repülés alakult ki az út fölött, amelynek végén megtörténik a nőtény leszállása és lepetézése. Általánosan megállapítható, hogy az erősen és vízszintesen poláros fényt reflektáló fekete és piros vizes tálcák és tesztfelületek poláros csapdaként magukhoz vonzották az aszfaltút vonzó hatása alá került kérészeket. A pontszerűen működő vizes csapdák az aszfaltút szélén elhelyezve lehetőséget adtak a lerakott peték túlélésére a patakba való biztonságos visszajuttatására.

Kutatásaink eredményeként sikerült igazolni, hogy a fekete vizes tálcákhoz hasonlóan a piros színűek is használhatók poláros csapdaként, miáltal ezek a jobban látható, ezért közlekedésbiztonsági szempontból előnyösebb poláros csapdák is alkalmazhatók a kérészek utódgenerációjának védelme érdekében.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőimnek, Dr. **Horváth Gábornak** és Dr. **Kriska Györgynek** a TDK dolgozatom megszületésében nyújtott folyamatos támogatásukat, a terepkísérletekben való aktív közreműködésüket, kutatási pályázataikból az anyagi források biztosítását, és az ötletek kidolgozásában való együttgondolkodást, valamint hogy fényképeiket rendelkezésemre bocsátották.

Köszönöm **Blahó Miklós** és **Szász Dénes** doktoranduszoknak (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium) a terepi munkában és egyéb szakmai kérdésekben nyújtott segítségét.

7.Tételes szerzői hozzájárulás

Alulírott **Czinke László** a dolgozatban leírt munkafolyamatok közül a

- kérészekkel végzett terepi kísérletekben
- a polarizációs mintázatok kiértékelésében
- az eredmények feldolgozásában, valamint azok kiértékelésében

vettem részt.

8. Irodalom

- Andrikovics, S. (1991). On the long-term changes of the invertebrate macrofauna in the creeks of the Pilis-Visegrádi mountains (Hungary). *Vh. 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.
- 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, G.; 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, R. A. Briers (eds.) *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. pp. 204-229, UK: CAB International Publishing, Wallingford, Oxon
- 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.; Egri, Á.; Kriska, Gy.; Seres, I.; Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24: 1644-1653
- Kriska, G.; 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. *Journal of Experimental Biology* 201: 2273-2286
- Kriska, G.; 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-polarisation signals. *Proceedings of the Royal Society of London B* 273: 1667-1671

- Kriska, G.; Malik, P.; Szivák, I.; Horváth, G. (2008) Glass buildings on river banks as "polarized light traps" for mass-swarving polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften* 95: 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 Insects Physiology*, 55: 1167-1173
- 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
- Rich, C.; Longcore, T. (2006) *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington – London
- Robertson, B. A.; Hutto, R. L. (2006) A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. *Ecology* 87: 1075-1085
- Schwind, R. (1985) Sehen unter und über Wasser, Sehen von Wasser. *Naturwissenschaften* 72: 343-352
- 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. *Journal of Comparative Physiology A* 177: 439-448
- 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