

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LXIII. évfolyam

6. szám

2013. június

HOGYAN FOGHATÓ NAPELEMMEL BÖGÖLY? – II. RÉSZ Fénypolarizációra és fotoelektromosságra épülő új rovarcsapda, avagy alap kutatásból gyakorlati haszon

Egri Ádám, Blahó Miklós, Horváth Gábor
Környezetoptika Laboratórium, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest
Barta András
Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest
Antoni Györgyi
ELTE Pályázati és Innovációs Központ, Budapest
Kriska György
ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Módszertani Csoport, Budapest és
Duna-kutató Intézet, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót

Cikkünk I. részében egy fénypolarizációs elven működő új napelemes bögölycsapdát és a vele folytatott terepkísérleteinket írtuk le. E II. részben a rovarcsapda terepen igazolt hatékonyságát mutatjuk meg, valamint tárgyaljuk a csapda előnyeit és hátrányait. Képzőképes polarimetriával mértük a csapda csalifelületének polarizációs mintázatait, amelyek magyarázzák a csapdafelszín polarotaktikus bögölyökre ható erős optikai vonzásának okait. Írásunkban egy példát adunk arra, miként lesz egy biofizikai alap kutatási eredményből (a bögölyök polarotaxisának felfedezéséből) konkrét gyakorlati alkalmazás (rovarcsapda).

Terepkísérleti eredmények: a napelemes bögölycsapda hatékonysága

A drót adott ω szögsebességgel való forgatásához szükséges napelem felületének nagysága a cikkünk I. részében [16] levezetett

$$P = \frac{k \rho a \omega^3 R^4}{4}$$

(5) kifejezés alapján tervezhető meg, ahol k a drót alaktényezője, ρ a levegő sűrűsége, a a drót vastag-

sága, ω a drótforgás szögsebessége és R a drót félhossza. E képletből következik, hogy: (i) Ha a drót a vastagságát például megkétszerezzük, a drót azonos ω szögsebességgel való forgatásához kétszeres P teljesítményre (napelemfelületre) van szükség. (ii) A drót kétszeres ω szögsebességgel való forgatásához $2^3 = 8$ -szoros napelemfelületre van szükség. (iii) Ha a drót hosszát megkétszerezzük, az azonos ω szögsebességgel való forgatáshoz $2^4 = 16$ -szoros napelemfelület kell.

Az 1. kísérletben használt 1. csapda felületének vörös, zöld és kék színtartományban képzőképes polarimetriával mért fénypolarizációs mintázatait a 4. ábra mutatja. A vízszintes csapdafelületről visszavert fény d polarizációfoka közel 100% volt (a d -mintázatokon feketével jelölve), mivel a műanyagfelület sima és fekete volt, és a mérés a függőlegeshez képest $\theta_{\text{Brewster}} = \arctan(n) = 56,3^\circ$ szögben (a vízszinteshez képest $33,7^\circ$ szögben) történt, ahol $n = 1,5$ a műanyag törésmutatója. A visszavert fény polarizációiránya a függőlegeshez képest $\alpha \approx 90^\circ$ volt, ami vízszintes polarizációnak felel meg (a polarizációirány mintázatain világos zöld és kék színárnyalatok jelölik). Az 1. csapda vízszintes, sima, fekete felülete tehát erősen (nagy d -értékű) és vízszintesen ($\alpha \approx 90^\circ$) poláros fényt vert vissza, ami a polarotaktikus bögölyö-

1. táblázat

Az 1. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak $N_T^{\text{álló}}, N_L^{\text{álló}}, N_H^{\text{forgó}}, N_T^{\text{forgó}}, N_L^{\text{forgó}}$ száma és az 1. csapda drótjának forgása miatt bekövetkező $Q_{\text{zavarás}} = 1 - (N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}}) / (N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}})$ zavarás mértéke. T: az 1. csapda vízszintes, sima, fekete felületének érintése. L: a csapdafelszínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelszínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása

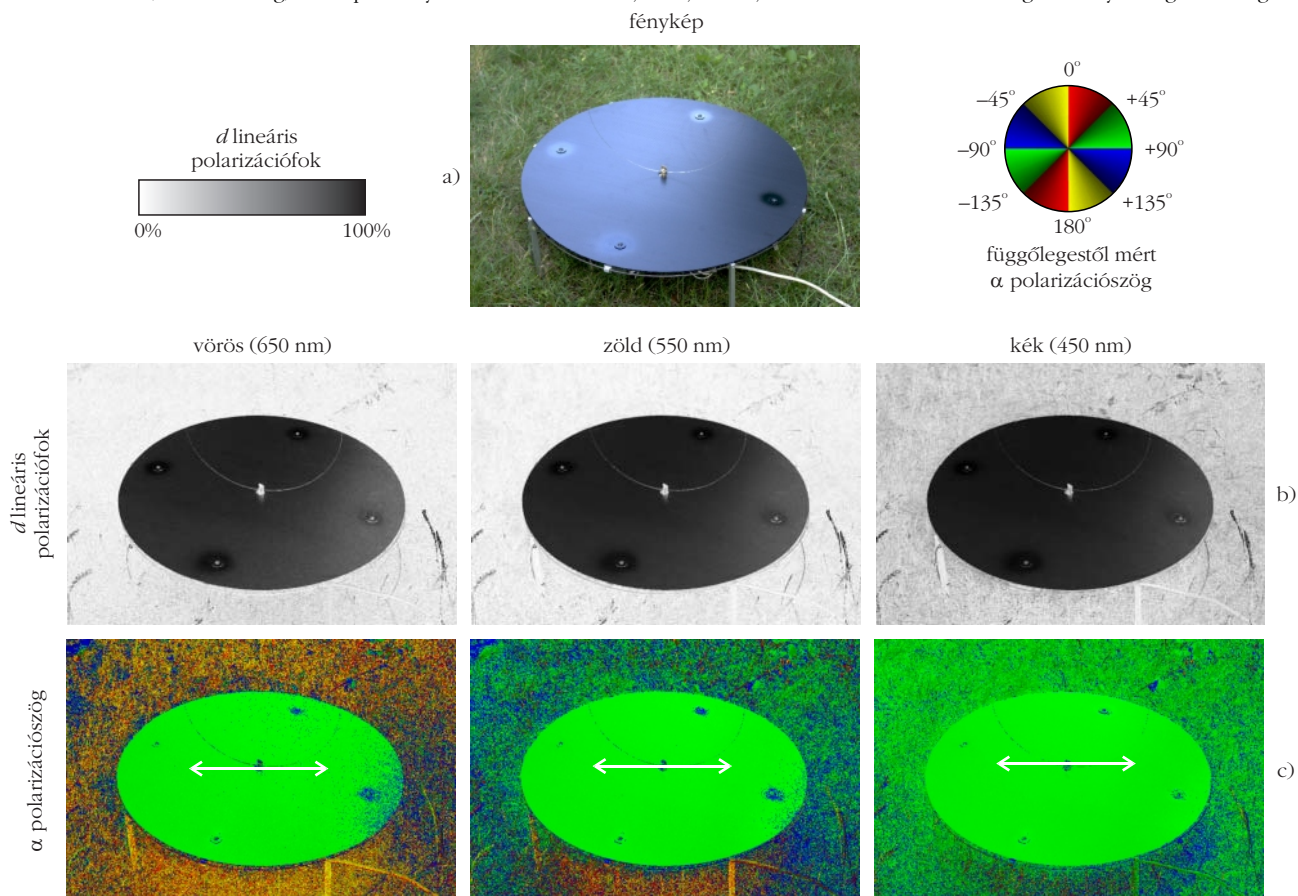
álló drót (idő: 10:00–15:00 = UTC + 2 ó)	forgó drót (10:30–15:30 ó)
2009. július 12., $Q_{\text{zavarás}} = 4,8\%$ 86 T + 60 L	6 T + 3 L + 130 H
2009. július 17., $Q_{\text{zavarás}} = 8,5\%$ 61 T + 45 L	5 T + 2 L + 90 H
2009. július 21., $Q_{\text{zavarás}} = 9,1\%$ 93 T + 39 L	5 T + 4 L + 111 H
2009. július 23., $Q_{\text{zavarás}} = 6,4\%$ 64 T + 46 L	6 T + 4 L + 93 H
2009. július 30., $Q_{\text{zavarás}} = 6,2\%$ 172 T + 149 L	10 T + 3 L + 288 H
összes: 476 T + 339 L $Q_{\text{zavarás}}$ átlaga = 6,7%	összes: 32 T + 16 L + 712 H

ket erősen vonzza. E polarizációs tulajdonságok a fény hullámhosszától lényegében függetlenek voltak, mivel a csapdafelület szintelen (fekete) volt.

Az 1. kísérletben az 1. csapda forgó drótja által elpusztított bögölyök néhány tetemének fényképeit az 5. ábra felső fele mutatja. E fényképekből és a helyszíni megfigyeléseinkből nyilvánvaló, hogy a forgó drót által eltalált bögölyök olyan súlyos sérüléseket szenvedtek, hogy hamarosan elpusztultak. A tetemek elemzéséből kiderült, hogy az 1. csapda a bögölyök mindkét nemét (hímeket és nőstényeket) egyaránt vonzotta és elpusztította. Ez jól mutatja az új technológiánk bögölyirtási hatékonyságát.

Az 1. táblázat alapján az 1. csapda drótjának forgása által távol tartott, elijesztett bögölyök aránya 4,8% és 9,1% között változott, és átlagosan 6,7% volt. Fontos megjegyezni, hogy a drót forgásának $Q_{\text{zavarás}}$ zavaró hatásának számítását befolyásolta az 1. csapda közelében a levegőben lévő bögölyök számának elkerülhetetlen időbeli változása, mivel a csapdát megközelítő bögölyök számolása álló és forgó drót mellett egymás után történt. Emiatt a forgó drót bögölyzavaró hatásának számított értéke csupán becslés jellegű. A $Q_{\text{zavarás}}$ zavaró hatás definícióját és képletét (lásd 1. és 2. táblázat szövege) cikkünk I. részének (6) kifejezése adja.

4. ábra. Az 1. kísérletben alkalmazott 1. bögölycsapda fényképe (a), valamint a róla visszaverődő fény d polarizációfokának (b) és α polarizációs szögének (c) a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában képalkotó polarimetriával mért mintázatai. A kettősfejű nyílak a vízszintes csalifelszínről visszavert fény vízszintes polarizációját jelzik. A polariméter optikai tengelye -34° -ot zárt be a vízszintessel (Brewster-szög). A csapda árnyékban lévő vízszintes, sima, fekete, kör alakú felszínét a tiszta égbolt fénye világította meg.





5. ábra. Az 1. és 2. kísérletekben a forgó drót által lecsapott bögölyök tetemeinek fényképei.

Az 1. kísérletből az a következtetés vonható le, hogy (i) az 1. csapda forgó drótjának mozgása és/vagy zaja és/vagy a drót által keltett légmozgás a vízszintes, poláros csapdafelület által odavonzott bögölyök kevesebb, mint 7%-át zavarta el, valamint, hogy (ii) a forgó drót képes volt olyan ütést mérni a bögölyökre, hogy azok elpusztultak. Következésképpen, érdemes volt az 1. csapda egy továbbfejlesztett változatát megépíteni. Így készült el a 2. csapda, amelyben a drótot forgató elektromotort napelem táplálta, aminek vízszintes, sima, fekete felülete a bögölyöket vonzó, vízszintesen fénypolarizáló csalifelületként is működött.

A 2. kísérletben a 2. csapda forgó drótja által elpusztított bögölyök néhány tetemének fényképei az 5. ábra alsó felén láthatók. Ez esetben is az eltalált bögölyök (*Tabanus bovinus*, *T. tergestinus*, *T. quatuornotatus*, *T. bromius*, *T. miki*, *Haematopota pluvialis*, *H. pluvialis*, *Silvius vituli*) olyan súlyos sérüléseket szenvedtek, hogy elpusztultak. A 2. táblázat szerint a 2. kísérletben a 2. csapda forgó drótja által távol tartott, elzavart bögölyök $Q_{zavarás}$ hányada 4,2% és 7,3% között változott, átlagosan pedig 5,6% volt.

A 2. kísérletből arra következtettünk, hogy (i) a 2. csapda forgó drótjának mozgása és/vagy zaja és/vagy a

2. táblázat

A 2. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak $N_T^{álló}$, $N_L^{álló}$, $N_H^{forgó}$, $N_T^{forgó}$, $N_L^{forgó}$ száma és a 2. csapda drótjának forgása miatt bekövetkező $Q_{zavarás} = 1 - (N_H^{forgó} + N_T^{forgó} + N_L^{forgó}) / (N_T^{álló} + N_L^{álló})$ zavarás mértéke. T: a 2. csapda vízszintes, sima, fekete felületének érintése. L: a csapdafelületre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelülethez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása

álló drót (idő: 10:00–15:00 = UTC + 2 ó)	forgó drót (10:30–15:30 ó)
2010. július 11., $Q_{zavarás} = 4,2\%$	
89 T + 53 L	7 T + 5 L + 124 H
2010. július 12., $Q_{zavarás} = 7,3\%$	
70 T + 40 L	6 T + 3 L + 93 H
összes: 159 T + 93 L	összes: 13 T + 8 L + 217 H
$Q_{zavarás}$ átlaga = 5,6%	

drót által keltett szellő a vízszintes, poláros csalifelület által odavonzott bögölyök kevesebb, mint 6%-át zavarta el, valamint, hogy (ii) a forgó drót képes volt olyan ütést mérni a bögölyökre, hogy azok elpusztultak.

Az 2–4. kísérletekben használt 2. csapda vízszintes napelemfelületének, valamint a kiegészítő napelemek vörös, zöld és kék színtartományban képalkotó polarimetriával két különböző irányból mért fénypolarizációs mintázatait a 6. és 7. ábra mutatja. A vízszintes csapdafelületről visszavert fény d polarizációfoka közel 100% volt, míg polarizációjának iránya vízszintes (a függőlegeshez képest $\alpha \approx 90^\circ$) volt Brewsterszögéből mérve. A 2. csapda vízszintes, sima, fekete napelemfelülete tehát erősen és vízszintesen poláros fényt vert vissza, ami a polarotaktikus bögölyöket nagymértékben vonzotta. Ugyanakkor, a ferde síkú kiegészítő napelem tábla az azimut iránytól függően kevésbé ($d < 25\%$), és nem mindig vízszintesen poláros fényt tükrözött. Ebből következően e kiegészítő napelem a polarotaktikus bögölyök számára nem volt vonzó. E kedvező tulajdonságot tovább erősítette, hogy a kiegészítő napelem tábla kerete világos volt, ami taszította a polarotaktikus rovarokat. E polarizációs tulajdonságok a fény hullámhosszától lényegében függetlenek voltak, mivel a csalifelület fekete (színtelen) volt.

A 3. kísérletben a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem nélkül. A 2. csapda használatával a 3. kísérlet során tapasztalt bögölyviselkedési mintákat és a bögölycsapdázás $Q_{fogás}$ hatékonyságát a 3. táblázat foglalja össze. A $Q_{fogás}$ csapdázási hatékonyság definícióját és képletét (lásd: 3. és 4. táblázat szövege) cikkünk I. részének (7) kifejezése adja. Tapasztalataink szerint a 2. csapda teljes napsütésben kiválóan működött: 10:00 és 17:30 óra között (mikor a napmagasság a 3. táblázatban megadott maximum és minimum között változott) a drót a vízszintes napelemfelszínre érintő vagy arra leszállni akaró bögölyök nagy részének elpusztításához elegendően nagy sebességgel folyamatosan forgott. A 2. csapda $Q_{fogás}$ csapdázási hatékonysága 89,4% és

94,3% között változott, átlagosan pedig 91,5% volt. A csapdázási hatékonyság azért nem volt 100%, mert a forgó drót ellenére néhány bögölynek sikerült a napelemfelszínre érintenie vagy arra leszállnia.

A 3. kísérletről arra következtettünk, hogy a 2. csapda teljes napsütésben jól működött, és a vízszintes napelemfelszín által odavonzott bögölyöket 92%-os hatékonysággal csapdázta, ha a napmagasság nem volt kisebb 29°-nál (3. táblázat). Azon bögölyöket, amelyek sérülés nélkül tudták érinteni a napelemfelszín, vagy tudtak leszállni rá és elrepültek, a forgó drót később elpusztíthatta. Megfigyeltük, hogy némelyik bögölyt, amelyeknek sikerült a napelemfelszínre sértetlenül leszállnia, a forgó drót akkor pusztította el, amikor megpróbált elrepülni. Mindezek miatt a 92%-os fogási hatékonyság alsó becslésnek számít.

A 4. kísérletben azt vizsgáltuk, hogy a vízszinteshez képest 45°-ban döntött kiegészítő napelemtábla miként növeli azt az időtartamot, amiben a 2. csapda hatékonyan működik. A 2. csapda használatával a 4. kísérletben tapasztalt bögölyviselkedési mintákat és a bögölycsapdázás $Q_{fogás}$ hatékonyságát a 4. táblázat

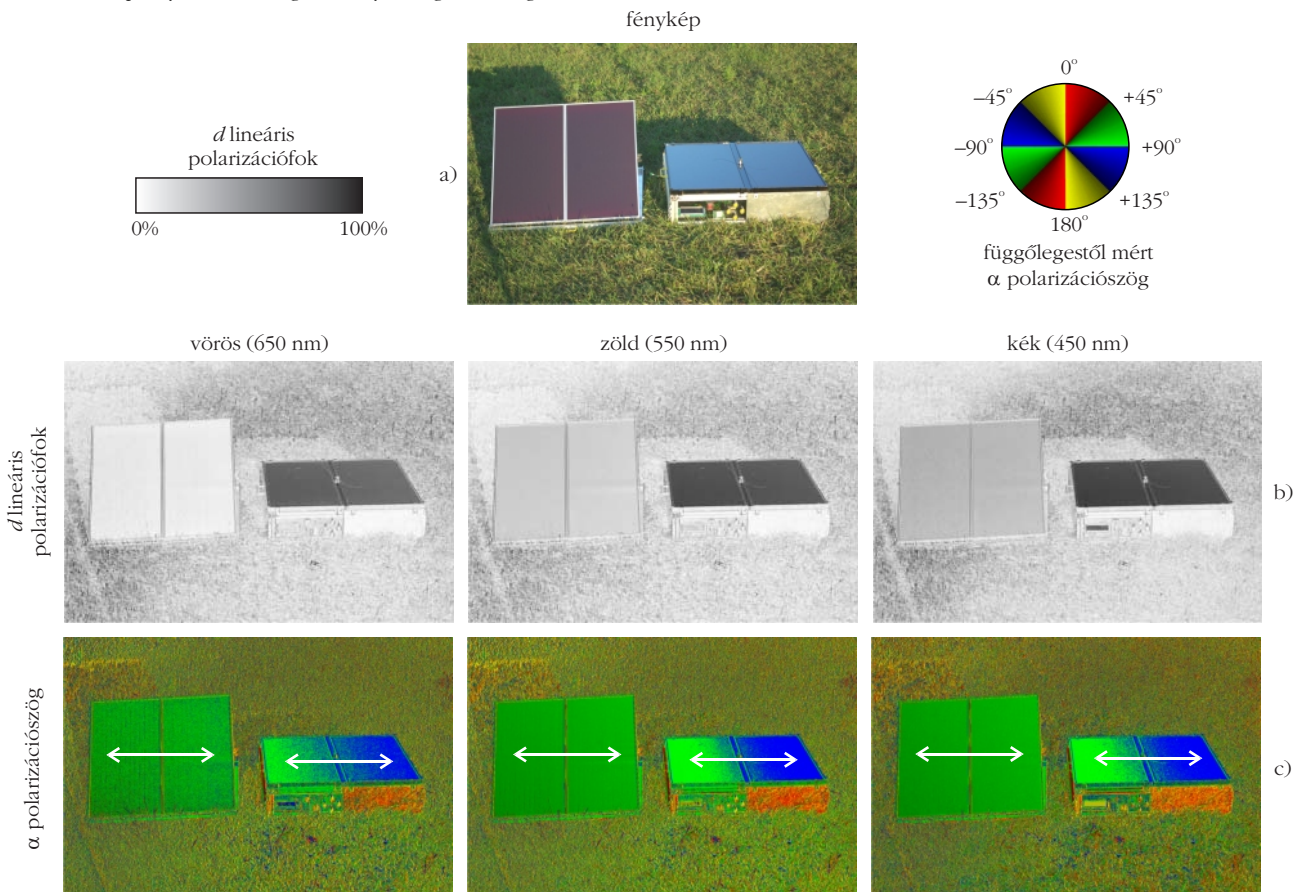
3. táblázat

A 3. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak $N_H^{forgó}$, $N_T^{forgó}$, $N_L^{forgó}$ száma és a 2. csapda $Q_{fogás} = N_H^{forgó} / (N_H^{forgó} + N_T^{forgó} + N_L^{forgó})$ bögölyfogó hatékonysága, amikor a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem alkalmazása nélkül. T: a 2. csapda vízszintes, síma, fekete felületének érintése. L: a csapdafelzínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelzínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása. A Nap horizont fölötti θ elevációs szögeit a <http://ephemeris.com> alapján számítottuk a 3. kísérlet időpontjának és helyszínének földrajzi koordinátái figyelembevételével.

dátum (2010)	idő (UTC + 2 ó)	θ (min – max)	bögölyreakciók	$Q_{fogás}$ (%)
július 13.	10:00 – 17:30	29,21° – 63,92°	11 T + 6 L + 143 H	89,4
július 14.	10:00 – 17:30	29,13° – 63,77°	8 T + 7 L + 150 H	90,9
július 15.	10:00 – 17:30	29,04° – 63,61°	9 T + 4 L + 148 H	91,9
július 16.	10:00 – 17:30	28,94° – 63,45°	7 T + 3 L + 164 H	94,3
július 17.	10:00 – 17:30	28,84° – 63,28°	13 T + 3 L + 155 H	90,6
összesen, illetve átlagosan:			48 T + 23 L + 760 H	91,5

tartalmazza. Tapasztalatunk szerint a 2. csapda teljes napsütésben kiválóan működött: 9:00 és 19:00 óra között (mikor a napmagasság a 4. táblázatban megadott maximum és minimum között változott) a drót a vízszintes napelemfelszínre érintő vagy arra leszállni akaró bögölyök nagy részének elpusztításához ele-

6. ábra. Mint a 4. ábra a 2. kísérletben alkalmazott 2. bögölycsapda és a ferde felszínű kiegészítő napelemtáblák esetén. A napelemeket közvetlen napfény és a tiszta égbolt fénye világította meg.



4. táblázat

A 4. kísérletben a bögölyök különféle (T, L, H) reakcióinak $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$, $N_L^{\text{forgó}}$ száma és a 2. csapda $Q_{\text{fogás}} = N_H^{\text{forgó}} / (N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}})$ bögölyfogó hatékonysága, amikor a drót folyamatosan forgott kiegészítő napelem alkalmazásával. T: a 2. csapda vízszintes, síma, fekete felületének érintése. L: a csapdafelszínre történő leszállás (és esetenként mászkálás). H: a csapdafelszínhez közelítő bögöly forgó drót általi lecsapása. A Nap horizont fölötti θ elevációs szögeit a <http://ephemeris.com> alapján számítottuk a 3. kísérlet időpontjának és helyszínének földrajzi koordinátái figyelembevételével.

dátum (2010)	idő (UTC + 2 ó)	θ (min – max)	bögölyreakciók	$Q_{\text{fogás}}$ (%)
augusztus 2.	09:00 – 19:00	11,49° – 59,84°	10 T + 5 L + 205 H	93,2
augusztus 3.	09:00 – 19:00	11,29° – 59,58°	8 T + 4 L + 198 H	94,3
augusztus 4.	09:00 – 19:00	11,08° – 59,32°	9 T + 3 L + 188 H	94,0
augusztus 5.	09:00 – 19:00	10,87° – 59,05°	7 T + 6 L + 219 H	94,4
augusztus 6.	09:00 – 19:00	10,65° – 58,78°	11 T + 1 L + 215 H	94,7
összesen, illetve átlagosan:			45 T + 19 L + 1025 H	94,1

gendően nagy sebességgel, folyamatosan forgott. A 2. csapda $Q_{\text{fogás}}$ csapdázási hatékonysága a kiegészítő napelemmel 93,2% és 94,7% között változott 94,1% átlagértékkel.

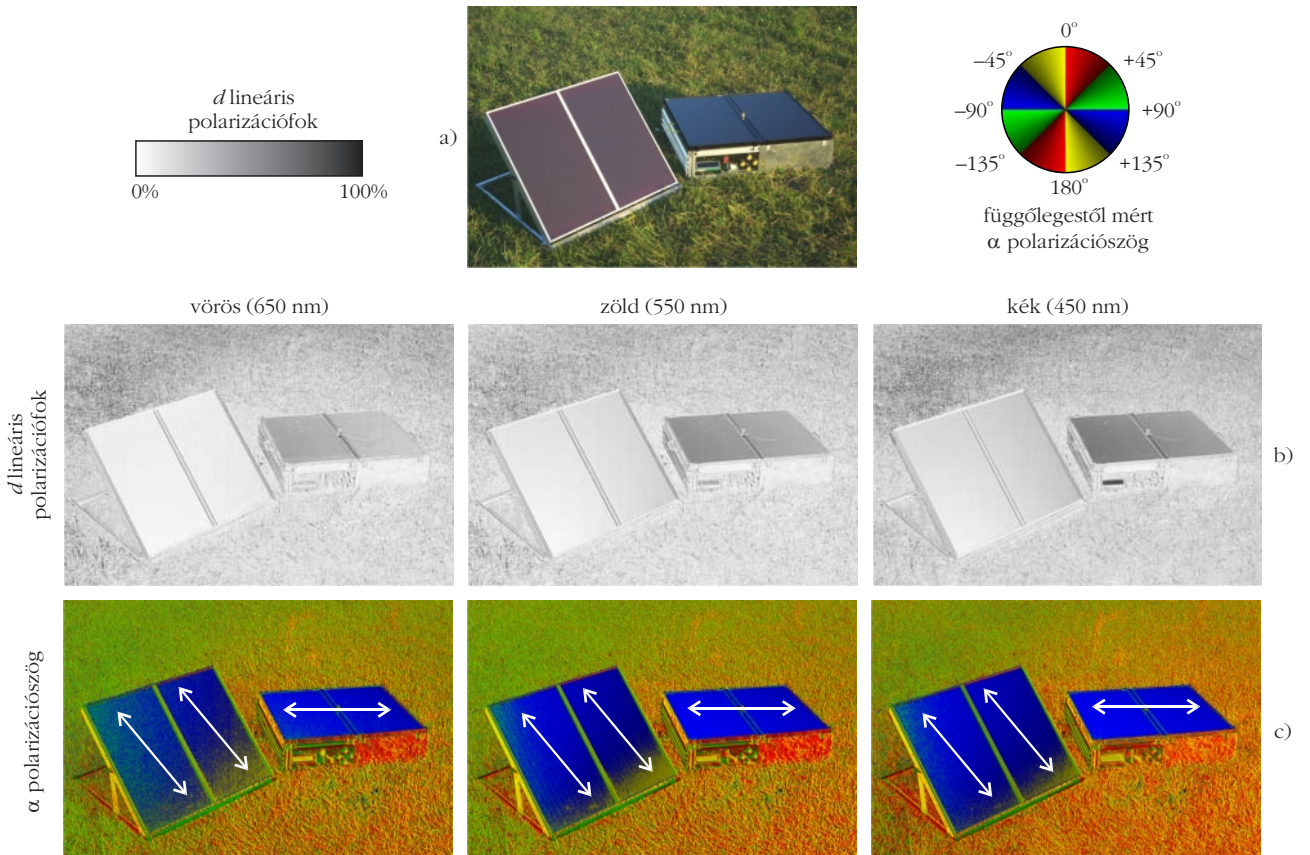
A 4. kísérletből arra következtettünk, hogy a 2. csapda a kiegészítő napelemmel teljes napsütésben jól működött, és a vízszintes napelemfelszín által odavonzott

bögölyöket 94%-os hatékonysággal csapdázta, ha a napmagasság nem volt kisebb 10°-nál (4. táblázat). Ha a kiegészítő napelemet nem forgattuk folyamatosan a Nap felé, akkor a csapdázási hatékonyság lecsökkent. Mivel a bögölyök gyakorisága általában kora délután a legnagyobb, célszerű a kiegészítő napelemet Dél-Dél-Nyugat irányban tájolni az északi féltekén.

Elemzés: a csapda előnyei és hátrányai

Terepkísérleteink során kimutattuk, hogy a vizet kereső, polarotaktikus hím és nőstény bögölyök vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző napelemfelszínhez, ahol elpusztulnak a napelemmel táplált elektromotor által megfelelően nagy szögsebességgel forgatott drót mechanikai ütése által. E terepi tapasztalat az alapja az új bögölycsapdánk koncepciójának, amiben a napelem kettős szereppel bír: (i) a felszínéről tükröződő vízszintesen poláros fény vonzza a vizet kereső polarotaktikus bögölyöket, és (ii) elektromos áramot termel a bögölyöket elpusztító drót forgatásához. Az új csapda napsütésben 92%-os hatékonysággal képes

7. ábra. Mint a 6. ábra, de oldalról nézve. fénykép



befogni (lecsapni és elpusztítani) a bögölyöket, ha a Nap elevációs szöge nem kisebb, mint közel 30° . Egy ferde kiegészítő napelemmel e hatékonyság 94%-ra nőhet és a csapdázási időszak is meghosszabbodhat néhány órával, amennyiben a Nap elevációs szöge nem kisebb 10° -nál.

Ha a kiegészítő napelem nem követi a Nap azimutirányát, akkor célszerű déli vagy dél-nyugati irányba fordítani, mert délután – részben a magasabb légkörmérséklet miatt – több bögöly repül, mint délelőtt. Ha a kiegészítő napelem irányultsága állandó, akkor az irányától függően azon időintervallum, amíg a csapda működőképes, néhány órával lerövidülhet ahhoz képest, amikor a kiegészítő napelemtábla követi a Nap mozgását. A kiegészítő napelem nélkül a csapda csak vízszintes napelemet tartalmazza, ezért néhány órával rövidebb ideig képes elpusztítani a bögölyöket, mint a ferde síkú kiegészítő napelemmel ellátott csapda.

Amikor a Napot felhők takarják, vagy a csapda napelemfelszínére a környező fák vagy épületek árnyéka vetül, a napelem kevesebb áramot termel, ami nem képes kellően nagy szögsebességgel forgatni a drótot, amely a napelemfelszínre érintő vagy az arra leszálló bögölyöket hivatott elpusztítani. Eképpen az új bögölycsapda hatékony működésének egyik előfeltétele, hogy a csapda napelemfelszíne teljes napsütésnek legyen kitéve. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy az égbolt befelhősödése miatt bekövetkező csapdahatékonyság-csökkenés mégsem jelent akkora problémát, ugyanis a bögölyök általában nem repülnek borult időben [17].

Az új típusú bögölycsapdának természetesen vízállónak kell lennie, hogy eső után is működőképes maradjon. A vízmentes szerkezet kialakítása, ha nem is egyszerű, de megoldható problémát jelent a konstrukciónak.

Tapasztalataink szerint a forgó drót rátekeredhet az elektromotor forgástengelyére, ha egy nagyobb rovar, levél vagy faág kerül a csapda vízszintes napelemtáblájára. Ekkor a forgó drót spirálalakban föltekeredik és működésképtelenné válik. Ilyenkor a föltekeredett drótot újra kell cserélni. Emiatt lényeges, hogy az elektromotor forgó tengelyének alumínium feje úgy legyen kialakítva, hogy a drótot könnyen cserélhető legyen. Másrészt pedig, ha lehetőség van rá, akkor a csapdát nem célszerű fák alá helyezni.

A napelemes bögölycsapda egyik hátránya, hogy a bögölyökön kívül elvileg magához vonzhat és elpusztíthat más polarotaktikus rovarokat, például vízibogarakat, vízipoloskákat vagy szitakötőket is. Másrésztől viszont fontos megjegyezni, hogy a vízirovarok nagy része tömeges megjelenésű, fajaik közül csak néhány védett. A vízszintes napelem felszíne mindössze $60 \times 60 \text{ cm}^2$, ami túl kicsi ahhoz, hogy számottevő mértékben vonzzon magához vízirovarokat. Az egyes vízirovarfajok számára meghatározható a vízfelszín egy minimális, kritikus kiterjedése, amely képes még kiváltani a vízbe való petézésüket és olyan víztesthez tartozik, amiben reális esélye van a lárvák kifejlődésének [18].

A napelemes rovarcsapda másik hátránya a hagyományos bögölycsapdákhoz képesti viszonylagos bonyolultsága. Továbbá, e csapda elektromos és forgó alkatrészei meghibásodhatnak, ára pedig – a napelem és a vízálló elektronika miatt – magasabb a hagyományos csapdákénál.

A napelemes bögölycsapda működése során a forgó drót sérülést okozhat az állatoknak és embernek. Ahhoz, hogy elkerüljük e sérülés lehetőségét, a csapdát célszerű olyan helyre kihelyezni, ahol az állatok és az emberek nem tudják megközelíteni. A problémára megoldást jelenthet az is, ha a csapdát megfelelő módon elkerítjük.

Tapasztalataink szerint mindenképpen előnyös, ha a forgó drót az indítás előtti állapotban enyhén fölfelé hajlik (lásd: *4.a, b ábra*). A forgás során – a centrifugális erő hatására – az eredetileg enyhén fölfelé hajló drót kiegyenesedik. Ha a drót az indítás előtt egyenes lenne, akkor lefelé hajlana a gravitáció miatt, és érintené a napelem felszínét. Ebben az esetben az elektromotor bekapcsolása után a forgó drót külső részei lemaradnának a belsőkhöz képest a drótvég és a napelemfelszín közti súrlódás miatt. Ekkor a drót könnyen rácsavarodhat a motor forgástengelyére. Ugyanezen okból nem lehet a rugalmas fémdrótot helyettesíteni például egy olyan madzaggal, aminek végéhez egy kis súly van rögzítve (ekkor is a súly súrlódás miatti lemaradása a madzag forgástengelyre való föltekeredését okozza).

A napelemes csapda burkolatán érdemes fényki-bocsátó diódákat (LED-eket) elhelyezni, amelyek este és éjszaka már messziről jelzik a csapda helyét, ami lehetőséget ad az állatoknak és az embereknek a csapda elkerülésére. A LED-ek áramellátását egy, a napsütésben a napelemtábla által feltöltött akkumulátor biztosíthatja. Ekkor persze kiegészítő elektronika is szükséges, ami biztosítja, hogy a napelem által termelt elektromosság egy része az akkumulátort töltse.

A rovarok monitorozásához használt ragacs fölhasználásával, vagy a folyadéktálcák alkalmazásával készített bögölycsapdákhoz összehasonlítva az új napelemes bögölycsapda előnye, hogy az elpusztított bögölyök tetemei nem maradnak a bögölyvonzó vízszintes csalifelszínen, mert a forgó drót ütése a csapda környezetébe repíti azokat. Eképpen az új csapda nem vonzza a közelbe és nem pusztítja el a bögölytetemek által odavonzott rovarvő madarakat, mint ez a ragacsos csapdánál esetenként tapasztalható.

Habár az új bögölycsapdának van egy energiaigényes alkotórésze, a drótot forgató elektromotor, ennek működtetéséhez mégsem kell mesterséges energiaforrás, mert a csapdához szükséges elektromos áramot egy napelemtábla termeli.

A napelemes csapda bögölyvonzó-képessége növelhető különböző, bögölyvonzó kémiai anyagok (például ammónia, szén-dioxid, fenolok) alkalmazásával. Egy ilyen szagcsalival kiegészített napelemes csapda terepi kipróbálása a jövő kutatási feladatai közé tartozik.

Végezetül szeretnénk hangsúlyozni, hogy munkánk fő célja az volt, hogy bemutassunk egy olyan új rovarcsapda-konceptiót, aminek alapját a visszaverődéskor bekövetkező fénypolarizáció, egyes rovarok polarotaktikus viselkedése és a fotoelektromos jelenségen alapuló napelemek által termelt elektromosság képezi. Az új csapda bögölyvonzásának és -elpusztításának elve alapvetően eltér a többi létező bögölycsapda működési elveitől. A napelemes bögölycsapda piaci bevezetésének lehetőségét még tanulmányozni kell, ami az egyéb csapdatípusokkal való összehasonlítással együtt a közeljövő feladata. Habár az előnyökön túl az új csapdának kétségtelenül van néhány kevésbé előnyös sajátága is, a fentiekben bemutattunk egy olyan koncepciót, ami a gyakorlatban is jól működik. Ily módon a napelemes bögölycsapdát érdemesnek tartjuk további tökéletesítésre a működés és megjelenés tekintetében. E csapda működési elve magyar szabadalom által védett (U-11-00276: Rovarölő szerkezet, különösen bögölyökhöz).

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat az OTKA (K-68462) és az Európai Unió (EuFP7, TabanOid-232366) pályázatai támogatták. Horváth Gábor köszöni a német Alexander von Humboldt Alapítvány műszeradományát. Köszönjük Viski Csaba (Szokolya) hozzájárulását, hogy terepkísérleteinket a lovas farmján végezhetjük. Hálásak vagyunk Fogl Lászlónak (ELTE Biológiai Fizika Tanszék) az 1. bögölycsapda megépítéséhez nyújtott segítségéért. Köszönjük Hopp Sándornak (ELTE Fizikai Intézet, Mechanikai Műhely) a bögölycsapdánk fém vázának elkészítését. Köszönjük Bodrogai Ferenc és Horváth László (Forest Kft., Lábatlan) anyagi támogatását. Kutatási projektünk a TÁMOP 4.2.1/09/1/KMR-2009-0001 számú Együttműködés, Lehetőség, Tudásbeszerezés, ELTE Kutatási és Technológiatranszfer Szolgáltatások Fejlesztése az ELTE-n című pályázat támogatásával valósult meg.

Irodalom

- Blahó M., Egri Á., Horváth G., Barta A., Antoni Gy., Kriska Gy.: Hogyan fogható napelemmel bögöly? I. rész. *Fizikai Szemle* 63 (2013) 145–149.
- Egri, Á.; Blahó, M.; Kriska, G.; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Ákesson, S.; Horváth, G.: Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* 215 (2012) 736–745. + electronic supplement
- Williams, D. D.; Feltmate, B. W.: *Aquatic Insects*. C.A.B. International, Wallingford, Oxford (1992) p. 358.

A FÖLD NUTÁCIÓS MOZGÁSA

Völgyesi Lajos

BME Általános- és Felsőegodézia Tanszék

Földünk tengely körüli forgása nehezen átlátható, meglehetősen bonyolult folyamat. Az előző [1] cikkben áttekintettük a legfontosabb fizikai alapfogalmakat, a súlyos és az erőmentes pörgettyű precessziós és nutációs mozgását és részletesen foglalkoztunk a Föld precessziós mozgásával. Ebben az írásban a Föld nutációs mozgásával (pólusmozgás, pólusingadozás, pólusvándorlás, szabadnutáció, kényszernutáció jelenségeivel) foglalkozunk.

Ha \mathbf{N} a K rendszerből szemlélve is változik, akkor:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \frac{d\mathbf{N}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N}. \quad (3)$$

A (3) vektor-transzformációból az (1) felhasználásával:

$$\frac{d\mathbf{N}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N} = \mathbf{M}, \quad (4)$$

ami a merev testtel együtt forgó megfigyelő számára a forgási egyensúly feltétele (az Euler-féle egyenlet vektoralakban).

Kifejtve a (4) összefüggésben szereplő vektoriális szorzatot az x, y, z koordináta-irányokban az alábbi skaláregyenletekre jutunk:

Az Euler-egyenletek

Ha forgó merev testre külső erők hatnak, akkor az impulzusnyomaték megváltozása a külső erők \mathbf{M} forgatónyomatékával egyenlő, így az $\boldsymbol{\omega}$ szögsebességgel forgó merev test kinetikai egyensúlyának feltétele külső (a testtel nem együttforgó) $K'(x', y', z')$ inerciarendszerből szemlélve:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \mathbf{M}. \quad (1)$$

Térjünk át az 1. ábrán látható $K'(x', y', z')$ inerciarendszerről a merev testtel együtt forgó $K(x, y, z)$ koordináta-rendszerre. Ha a forgó K koordináta-rendszeren belül az \mathbf{N} vektor nem változna, akkor a K' inerciarendszerből szemlélve az \mathbf{N} vektor változása csak a forgásból állna:

$$\frac{d'\mathbf{N}}{dt} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{N}. \quad (2)$$

1. ábra. Koordináták merev testek forgásának leírásához.

