

Szakmai zárójelentés

az OTKA 2015/1, PUB-I 117239 számú, „A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai” című pályázati támogatáshoz

Az ELTE Eötvös Kiadó gondozásában 2016 augusztusában jelent meg a következő könyvünk:

Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György (2016) A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, p. 485. ISBN: 978 963 312 253 2.

A kötet szerzői dr. Horváth Gábor, az ELTE Biológiai Fizikai Tanszékének egyetemi docense, Farkas Alexandra, az MTA ÖK Duna-kutató Intézet tudományos segédmunkatársa és dr. Kriska György, az MTA ÖK Duna-kutató Intézet tudományos főmunkatársa és az ELTE Biológiai Intézet adjunktusa. A 485 oldal terjedelmű magyar nyelvű monográfia hiánypótló irodalomnak tekinthető a környezetoptika és biooptika területén.

A szerzők a teljes, lezárt kéziratot 2016. április 13-án adták át az ELTE Eötvös Kiadó szerkesztőségének. Az előzetesen ígért 350 ábra helyett a leadott kézirathoz a számos ábraösszevonás miatt végül 229 ábrát és 20 táblázatot csatoltunk. Az előzetesen tervezett, megértést segítő magyarázó ábrák közül tehát mindegyik szerepel a könyvben. A borítóterv elkészülte és a kézirat tördelése után a szerzők két körben végezték el a korrektúrázási feladatokat. Mivel a könyv három szerzője a vártnál lassabban haladt a mű korrektúrájának átnézésével és javításával, dr. Kriska György 2016. május 25-én halasztási kérelmet nyújtott be dr. Prószéky Gáborhoz. Ezután e kérelemre válaszolva dr. Kriska György tájékoztatást kapott, hogy az NKFI Hivatal kutatás-fejlesztésért felelős elnökhelyettese hozzájárult, hogy a PUB-I 117239 számú projekt befejezésének határideje 2016. augusztus 31-ig meghosszabbodjon. A korrektúra véglegesítése után a kötet 2016. augusztus 18-án jelent meg. Tartóssági szempontokat szem előtt tartva, elsősorban a könyv jelentős terjedelmére tekintettel kértük az ELTE Eötvös Kiadót, hogy lehetőség szerint keménytáblás formában jelentessék meg a kiadványt. Erre azért is volt szükség, mert mint az adott téma alapszakirodalma, és mint multidiszciplináris mű várhatóan jelentősebb igénybevételnek lesz kitéve a több irányú érdeklődés miatt. Az ELTE Eötvös Kiadó kérésünket mérlegelés után elfogadta, így a könyv keménytáblás formában jelent meg.

A kötet bemutatja az elmúlt 21 év (1995-2016 közötti) fénypolarizációval kapcsolatos hazai kutatásait, melyek az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának és az MTA ÖK Duna-kutató Intézet Polarizációs Ökológiai Laboratóriumának szoros szakmai együttműködésében zajlottak. A kötet összesen 521 korábbi publikációt dolgoz fel, kiemelten részletezve azon alábbi 5, az OTKA támogatásával folytatott kutatást, melyek témavezetői a mű két társszerzője, Horváth Gábor és Kriska György voltak:

- 1) **OTKA F-014923:** *Természetes polarizációs mintázatok és az állatok polarizáció-látása* (1995-1998), témavezető: Horváth Gábor
- 2) **OTKA T-020931:** *A madarak és rovarok vízdetektálásának és fénypolarizáció-érzékelésének kísérletes vizsgálata* (1996-1999), témavezető: Horváth Gábor
- 3) **OTKA F-025826:** *A budapesti pakurató állatokra kifejtett hatásának viselkedés-ökológiai vizsgálata és környezet-biofizikai monitorozása* (1998-2000), témavezető: Horváth Gábor
- 4) **OTKA K-68462:** *Közvetlen és közvetett polarotaxis vizsgálata tegzeseknél és kétszárnyúaknál* (2007-2011), témavezető: Kriska György
- 5) **OTKA K-105054:** *Égbolt-polarimetria a felhők felismerésére és a polarimetrikus viking-navigációnak kedvező meteorológiai viszonyok vizsgálatára* (2012-2016), témavezető: Horváth Gábor

A kiadott mű közvetlenül a korábbi OTKA-kutatásokat végző kutatók tollából született meg, közérthetően és átfogóan foglalva össze a fénypolarizációban rejlő különböző lehetőségeket. A szerzők kutatói életpályájuk során mindvégig fontosnak tartották, hogy eredményeikről közérthetően is beszámoljanak az érdeklődő nagyközönségnek ismeretterjesztő cikkek és előadások formájában. A könyv legfontosabb eredményeik közérthető módon történő bemutatását biztosítja. A mű alapján az érdeklődő olvasó, egyetemi hallgató vagy középiskolai diák is könnyen megértheti ezen eredményeket, hogy a különböző meteorológiai szituációkban mi irányítja az égbolt polarizációs mintázatának kialakulását, részletes betekintést kaphat például arra nézve, hogy miként tájékozódnak azok a különféle állatfajok, amelyek képesek érzékelni a fény polarizációs tulajdonságait, milyen módon eshetnek e fajok olyan poláros ökológiai csapdák fogságába, amiket az emberi tevékenység alakított ki. E környezeti és biofizikai jelenségek könnyebb megértését a szerzők által készített 229 színes ábra és 20 táblázat is segíti.

A könyv 5 fő és egy zárszót tartalmazó fejezetből áll az alábbiak szerint:

TARTALOMJEGYZÉK KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ELŐSZÓ

1. OPTIKAI KÖRNYEZETÜNK POLARIZÁCIÓS MINTÁZATAI BIOLÓGIAI VONATKOZÁSOKKAL

- 1.1. A fény polarizációja és annak mérése különböző polariméterekkel
- 1.2. Tiszta és felhős égboltok polarizációs mintázatai
- 1.3. Az égbolt polarizálatlan (neutrális) pontjai
- 1.4. Hőlégballonos vadászat a negyedik (utolsó) polarizálatlan pontra
- 1.5. A holdfény által megvilágított éjszakai égbolt polarizációs mintázata
- 1.6. Poláros pillantás az égre teljes napfogyatkozáskor
- 1.7. A vízfelszín polarizációja
- 1.8. Délibábok polarizációja

2. A FÉNYPOLARIZÁCIÓ ÉRZÉKELÉSE

- 2.1. A rovarszem modellje
 - 2.1.1. *Az appozíciós összetett szem*
 - 2.1.2. *Egyszerű demonstrációs eszközök az összetett szem alkotta mozaikkép szemléltetésére*
- 2.2. Polarizációlátás az állatvilágban
- 2.3. Vízre szállás reggel, délben, este
- 2.4. A kérészek polarizációérzékelése
 - 2.4.1. *A tiszavirág fénypolarizáció alapú vízdetekciója*
 - 2.4.2. *A kedvezőtlen élőhelyek elkerülése a kérészek polarotaktikus viselkedés révén*
- 2.5. Polarotaxis árvaszúnyogoknál: a nőstény árvaszúnyogok vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez
- 2.6. A bögölyök polarizációérzékelése
- 2.7. A polarotaxis ingerküszöbének vizsgálata kérészeknél, szitakötőknél és bögölyöknél
- 2.8. A polarizációlátás UV-paradoxonának légköroptikai feloldása
 - 2.8.1. *A polarizációlátás UV-paradoxona*
 - 2.8.2. *Felhős égboltról vagy lombokról érkező fény polarizációfokának UV-beli viselkedése*
 - 2.8.3. *A polarizációlátás UV-paradoxonának feloldása*
 - 2.8.4. *Amikor az égbolt-polarizációt a kékben érdemes érzékelni*

2.8.5. *Az égbolt-polarizáció érzékelése és a polarotaktikus vízdetekció közötti analógia*

2.9. Színlátás és fénypolarizáció

2.10. A cirkulárisan fénypolarizáló szkarabeuszok nem érzékelik a cirkuláris polarizációt

2.10.1. *A szkarabeuszok cirkuláris polarizációérzékelésének évszázados hipotézise*

2.10.2. *A szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének kísérleti vizsgálata*

2.10.3. *Kísérleti eredmények: a szkarabeuszok nem reagálnak a cirkuláris polarizációra*

3. POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS ÉS POLARIZÁCIÓS ÖKOLÓGIAI CSAPDÁK

3.1. Poláros fényszennyezés, a környezeti ártalmak egy új formája

3.2. Nyíltszíni olajtározók vizuális ökológiai hatásai

3.2.1. *A kuvaiti kőolajtavak állatokra gyakorolt vonzása*

3.2.2. *A budapesti pakurató mint vízirovarcsapda*

3.2.3. *A budapesti pakurató mint madárcsapda*

3.3. Polárosan becsapott temetői szitakötők

3.4. Poláros fényszennyező piros és fekete autók

3.5. Kérészek az aszfalton

3.6. Folyó felett átívelő hidak hatása a tiszavirág rajzási viselkedésére

3.7. Pernyemezők polarotaktikus vízirovarokra gyakorolt hatása

3.8. A dunavirágot érintő komplex ökológiai csapda

3.9. A napelem evolúciós csapdája

3.10. A matt autók bevonata nem mindig csökkenti a poláros fényszennyezést

3.11. Folyóparti üvegépületek poláros fényszennyezése

3.12. A lovak fehérségének egy nem várt előnye, avagy minimális bögölyvonzású lovak

3.13. A poláros fényszennyezés csökkentésének zebrák által kifejlesztett trükkje

3.14. A foltos kültakaró előnye

4. POLÁROS CSAPDÁKKAL A BÖGÖLYÖK ELLEN

4.1. Bögölypapír: A klasszikus légyapapír átváltozása hatékony bögölycsapdává

4.2. Folyadékcspda: Esőálló olajcsapda

4.3. Napelemes bögölykasza

4.3.1. *Terepkísérletek napelemes bögölycsapdákkal*

4.3.2. *A napelemes bögölycsapda hatékonysága*

4.3.3. *A napelemes bögölycsapda előnyei és hátrányai*

5. AZ ÉGBOLT-POLARIZÁCIÓS VIKING NAVIGÁCIÓ HIPOTÉZISE ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

5.1. A viking kor

5.2. A vikingek navigációja

5.3. Tájékozódás napiránytűvel

5.4. A Nap helyének becslése a felhők fényességmintázata alapján

5.5. Az égbolt-polarizációs viking navigáció hipotézise és lépései

5.6. Az égbolt-polarizációs viking navigáció meteorológiai és légköroptikai feltételei

5.7. Az égbolt-polarizációs viking navigáció terepi pszichofizikai vizsgálata

5.8. A viking navigáció 1. lépésének laboratóriumi vizsgálata

5.9. A viking navigáció 2. lépésének planetáriumi vizsgálata

5.10. Új lehetséges viking navigációs eszközök

5.10.1. *Navigáció alkonyfényiránytűvel*

5.10.2. *Új eszköz a földrajzi szélesség meghatározására*

6. ZÁRSZÓ: ÖSSZEFOGLALÓ TANMESE A FÉNYPOLARIZÁCIÓRÓL, ANNAK ÉRZÉKELÉSÉRŐL ÉS BIOLÓGIAI JELENTŐSÉGÉRŐL

- 6.1. Darwin poláros tanácsokkal látja el a látásával elégedetlen méhet
- 6.2. A tücsök és az ég poláros kékje
- 6.3. A lombok alatt napnyugtakor repkedő cserebogár
- 6.4. Darwin polarotaxissal vérteti fel a vízpoloskát
- 6.5. A vízirovar sarkított panaszai: Polarizációs napóra és poláros fényszennyezés
- 6.6. Darwin becsíkozta a zebrát a vérszívó bögölyök ellen
- 6.7. A cirkulárisan polarizáló testű rózsabogár
- 6.8. Darwin szembe ültetett polarizációs égi iránytűvel látta el a tengeren bolyongó vikingt

IRODALOMJEGYZÉK

Az *1. fejezetből* (OPTIKAI KÖRNYEZETÜNK POLARIZÁCIÓS MINTÁZATAI BIOLÓGIAI VONATKOZÁSOKKAL) megtudja az olvasó, hogy az égbolt jellegzetes, a felhőzöttségi viszonyoktól és a napállástól is függő polarizációs mintázata nemcsak meteorológiai, légköroptikai, hanem biológiai szempontból is fontos, mivel azt számos állat (például rovar, rák, hal, kételtű, hüllő és madár) felhasználja térbeli tájékozódásra (orientációra és navigációra). Képalkotó polarimetriával a spektrum különböző tartományokban mérhető és látványosan megjeleníthető ez az egész égboltra kiterjedő polarizációmintázat. Ezen égbolt-polarizációs mintázat minden olyan esetben kiváló viszonyítási irányt szolgáltathat a polarizációérzékeny látórendszerű állatok számára, mikor azok más vizuális vagy más érzéki (például mágneses) jelek híján vannak. E mintázat tiszta, derült, részben felhős, erősen felhős, borult és ködös időben, továbbá erdőtüz füstje miatt fakó égbolt esetén is különböző. Emellett teljes napfogyatkozás idején annyira módosulnak, térben és időben oly bonyolultan változnak a megvilágítási viszonyok, hogy az égbolt polarizációs mintázata ilyenkor is drasztikusan megváltozik. A napfogyatkozás teljességekor (totalitásokor) az égbolt átlagos polarizációfoka jóval kisebb a normál égboltnál és az égboltfény polarizációjának eloszlása is merőben eltér a normál égbolttól. Emiatt például az égbolt-polarizáció alapján tájékozódó méhek a totalitás alatt eltévedhetnek és elpusztulhatnak. E fejezetből az is kiderül, hogy a vízirovarok a vízfelszínről tükröződő napfény és égboltfény vízszintes polarizációja alapján találják meg az életereiket. Képalkotó polarimetriával vizsgálható a vízfelszínnek a víztest optikai sajátosságaitól, valamint a napállástól és az égbolt polarizációeloszlásától függő tükröződési-polarizációs mintázata. A polarizációérzékeny vízirovarokat érdekes módon nem téveszti meg az emberi szem számára csillogó vízfelületet utánzó délibáb, aminek okait e jelenség polarizációs sajátosságainak képalkotó polarimetria tanulóanyagának adta meg.

A napfény légkörbeli szóródása miatt a tiszta égbolt kék fénye az iránytól függően részlegesen lineárisan poláros. Létezik azonban három olyan kitüntetett irány, amerről polarizálatlan égboltfény érkezik a földi megfigyelőhöz. A poláros ég e helyeit neutrális vagy polarizálatlan pontoknak nevezik, utalva az innen eredő szórt fény polarizáció szempontjából semleges voltára. Az Arago-, Babinet- és Brewster-pontok az 1809-es, 1840-es és 1842-es évben történt felfedezésük óta számos földi polarimetria mérést tárgyát képezték, mivel az égen elfoglalt helyükből a légköri aeroszol típusára és mennyiségére lehetett következtetni, ami fontos információ a meteorológiában. Ellentétben a fenti hárommal, a 4. neutrális pont a földről nem látható, azt először 180° látószögű képalkotó polarimetriával nekünk sikerült kimutatni 2002-ben egy hőlégballonos méréssel. E vállalkozást az tette igazán jelentőssé, hogy mivel összesen csak négy neutrális pont alakul ki a napsütötte tiszta légkörben normál megvilágítási körülmények között, ezért az utolsó, kísérletileg

még nem észlelt 4. neutrális pont megfigyelése kerek egészé tette a légkörfizika neutrális pontokkal foglalkozó ágát. Mindennek kalandos részletei is kiderülnek e fejezetből.

A **2. fejezet** (A FÉNYPOLARIZÁCIÓ ÉRZÉKELÉSE) rávilágít, hogy a fény emberi szem számára gyakorlatilag érzékelhetetlen egyik sajátságát, a fénypolarizációt számos állatfaj képes észlelni. Ennek érzékelése a szemeikben található, erre szakosodott polarizációérzékeny fotoreceptorokkal történik. E fejezet összefoglalja a rovarok polarizációérzelését, és hogy e képességüket mire használják. Különös hangsúllyal tárgyaltuk a méhek látását, a különböző vízirovarok (szitakötők, kérészek, bögyölők, vízbogarak és vízipoloskák) fénypolarizáció alapján történő vízdetekcióját, mely ismeretek a két másik fejezetben tárgyalt poláros fényszennyezés és polarizációs bögyölycsapdák alapjául szolgálnak.

E fejezetben tárgyaltuk azt a légköroptikai szempontból meglepő tény, hogy sok rovarfaj a térbeli tájékozódásra használt poláros égboltnfényt az ultrabolya (UV-) tartományban érzékeli, hiszen az égboltnfénynek mind az intenzitása, mind a polarizációfoka lényegesen kisebb az UV-tartományban, mint a kékben vagy a zöldben. E jelenséget nevezzük a polarizáció-érzékelés UV-paradoxonának, amit mások korábbi sikertelen próbálkozásai után nekünk sikerült feloldanunk az e fejezetben is felvázolt egyszerű légköroptikai számításokkal és megfontolásokkal.

Mind ez ideig az volt a széles körben elfogadott vélekedés, hogy azok a cirkulárisan poláros fényben szegény optikai környezetben élő és balra cirkulárisan poláros fényt visszaverő kitinpáncélú szkarabeusz bogarak (például rózsabogarak, cserebogarak, ganajtúrók), amelyek páncélja balra cirkulárisan poláros fényt ver vissza, képesek lehetnek érzékelni a cirkuláris polarizációt, és e vizuális jel segítheti őket a fajtársak egymásra találásában. E feltételezést teszteltük és kísérleteink eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a vizsgált négy szkarabeuszfaj nem érzékeli a cirkulárisan poláros fényt, nem reagál arra a fajtársak vagy táplálék keresése közben. E fejezet bemutatja az ezzel kapcsolatos kísérleteket és azok eredményeit is.

A **3. fejezetből** (POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS ÉS POLARIZÁCIÓS ÖKOLÓGIAI CSAPDÁK) kiderül, hogy a fényszennyezés problémája az utóbbi évtizedekben széles körben ismertté vált. A felfelé világító éjszakai földfelszíni mesterséges fények légkörről való, lefelé történő visszaszóródását eleinte ártalmatlan jelenségnek tekintették, a közvilágítás elterjedésével azonban kiderült, hogy a mesterséges fények az élővilágra is káros hatással vannak, például egyes rovarok tömeges pusztulását és a rájuk épülő táplálékláncok és életközösségek romlását okozhatják. Azonban nemcsak erős fényforrások, hanem egyes sötét és csillogó felületek (például napsütötte aszfaltutak, fekete autókarosszériák, fekete sírkövek, üveglapokkal díszített épületek, olajtavak, vízszintes napelemtáblák, fekete mezőgazdasági műanyag fóliák) is képesek vízirovarokat tömegesen magukhoz vonzani és elpusztítani. Ennek két oka a vízirovarok pozitív polarotaxisa (vízszintesen poláros fényhez való vonzódása) és a fénytükröző sötét felületek okozta visszaverődési fénypolarizáció. A kérészek (Ephemeroptera), álkérészek (Plecoptera), szitakötők (Odonata), bogarak (Coleoptera), poloskák (Heteroptera), kétszárnyúak (Diptera) és tegzesek (Trichoptera) rendjébe tartozó, 300-nál is több vízirovarfajról ismert már, hogy pozitív polarotaxissal rendelkezik, mert a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációja alapján keresi vízi élőhelyeit. Így e rovarok mindegyike érintett a poláros fényszennyezésnek nevezett, széles körben elterjedt azon ökológiai csapdajelenségben, hogy az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek poláros vízfelszín utánözva megtévesztik és odavonzzák e rovarokat, melyek rájuk rakják petéiket, amik kiszáradás miatt elpusztulnak, így gyengítvén a rovarpopuláció túlélési esélyeit. E fejezet részletesen ismerteti a poláros fényszennyezés főbb forrásait, azok képalkotó polarimetriával mért optikai sajátságait, és az érintett polarotaktikus rovarcsoportokat. Bemutatásra került továbbá az is, hogy miként csökkenthető vagy küszöbölhető ki a poláros fényszennyezés a

fénypolarizáló felületek színének, irányulásának és/vagy érdekességének alkalmas megváltoztatásával. E fejezetből azt is megtudhatja az olvasó, hogy a poláros fényszennyezés csökkentésének egyik hatékony módját a zebrától és foltos emlősöktől is el lehet lesni: Kiderült ugyanis, hogy a zebrák csíkosságának, a szarvasmarhák tarkafoltosságának és a lovak fehérségének egyik előnye, hogy őket kevéssé támadják a polarotaktikus bögölyök, mint a homogén sötét színű társaikat. Terepkísérletekben igazoltuk, hogy az erősen polarizáló felületek poláros fényszennyezése csökkenthető megfelelően vékony és sűrű fehér csíkmintázattal, mivel a felület kis poláros cellái már nem vonzzák a polarotaktikus rovarokat. A sötét színű autókarosszériák érdekessége, mattítása azonban nem csökkenti a poláros fényszennyezésüket, mert a matt karosszériák csak egyes rovarcsoportok számára kevésbé vonzóak.

A **4. fejezet** (POLÁROS CSAPDÁKKAL A BÖGÖLYÖK ELLEN) bemutatja, hogy a bögölyök (Diptera: Tabanidae) számos súlyos problémát okoznak az embereknek és haszonállatoknak egyaránt, mivel vérszívó nőstényeik betegségek kórokozóit terjesztik. A vérszívó bögölyök folyamatosan zaklatják az állatokat, különösen a lovakat és szarvasmarhákat, aminek következtében azok nem tudnak eleget legelni, s így a hús- és tejtermelésük jelentősen csökken, ami komoly gazdasági károkkal jár. Kimutattuk, hogy a bögölyöket vonzza a lineárisan poláros fény, mely viselkedést pozitív polarotaxisnak hívják: az iváshoz, peterakáshoz és a test hűtését szolgáló fürdéshez szükséges vizet a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációja segítségével találják meg, míg a vérszívásra alkalmas gazdaállatokat a kültakarójukról visszavert fény polarizációfoka alapján. Ily módon, a bögölyök lineárisan poláros fénnel egy adott helyre csalogathatók, majd valamilyen mechanikai vagy kémiai módszerrel elpusztíthatók. E fejezetben három merőben új, általunk kifejlesztett és szabadalmaztatott polarizációs bögölycsapdát mutatunk be: a ragadós bögölypapírt, a folyadékcsapdát és a napelemes bögölykaszárt, mely csapdáknak a hagyományos bögölycsapdákhoz képesti sokkal nagyobb hatékonyságát terepkísérleteink bizonyították.

Az **5. fejezetben** (AZ ÉGBOLT-POLARIZÁCIÓS VIKING NAVIGÁCIÓ HIPOTÉZISE ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA) arról írunk részletesen, hogy a 900–1200 közötti időszakban az Atlanti-óceán északi részét a vikingek uralták, akik mágneses iránytű nélkül is kiválóan tájékozódtak a nyílt vizeken. Napsütésben egy speciális napiránytű segítségével navigálhattak, azonban máig nem ismert, hogy az északon gyakran előforduló ködös és felhős időben miként határozták meg a Nap égi helyét. Egy széles körben elfogadott, de máig nem bizonyított hipotézis szerint a vikingek ilyenkor az égboltfény lineáris polarizációját kihasználva tájékozódhattak, amit polárszűrőként működő napkövekkel határoztak meg. E fejezetben bemutatásra kerülnek ennek az égbolt-polarizációs viking navigáció megfelelő pontosságú működésének a meteorológiai, légköroptikai és pszichofizikai feltételei, illetve a hipotetikus módszer egyes lépései, valamint azok planetáriumi és laboratóriumi pszichofizikai kísérletekben mért hibafüggvényei és főbb tanulságai. E kutatás jelentősége abban áll, hogy egy korábban számszerűen nem tanulmányozott rejtélyes navigációs eljárást, valamint az azzal kapcsolatos tudományos hipotézist és vitát tisztáz, ami több tudományterületet (fizika, meteorológia, antropológia, történelem, földrajz) is érint. Az elvégzett kutatások eredményei segítenek bizonyítani vagy cáfolni a szóban forgó hipotézist. E vizsgálatokkal megbecsülhető annak valószínűsége, hogy különböző meteorológiai körülmények között mekkora az esélye annak, hogy a vikingek égbolt-polarizációs módszerével (azaz a rendelkezésre álló napkő kristályok segítségével) adott pontossággal megkapjuk a földrajzi északi irányt.

Budapest, 2016. augusztus 25.


dr. Kriska György, vezető kutató