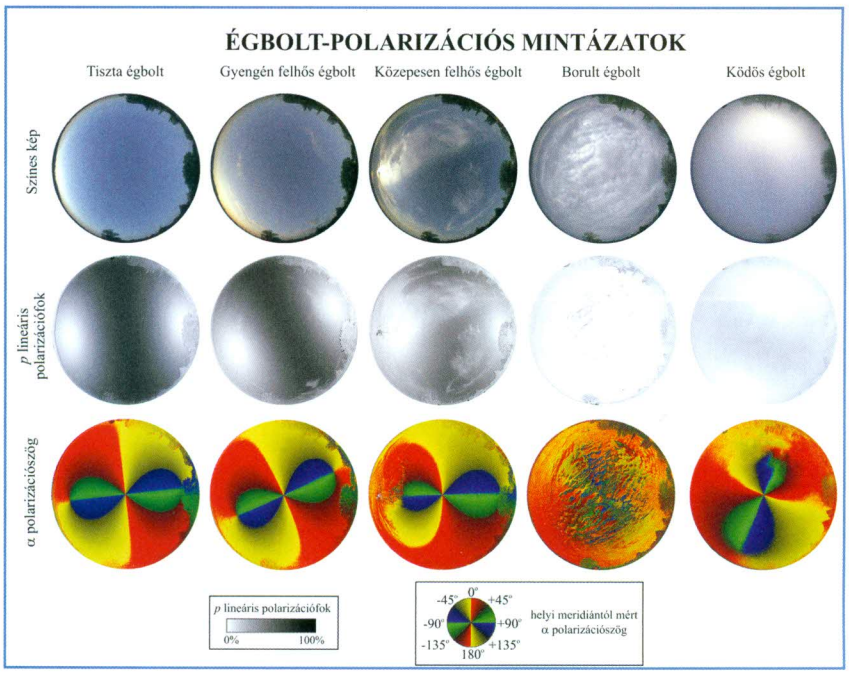
A NAPKŐHASZNÁLAT LÉGKÖROPTIKAI FELTÉTELEI

A népszerű elképzelés szerint a felfedező viking hajósok borult időben vagy sűrű ködben napkő segítségével tájékozódtak a nyílt óceánon. De vajon ezekben az időjárási helyzetekben teljesülnek-e ezen titokzatos optikai eszköz használatának légköroptikai feltételei?

6. rész

A laikus érdeklődők és a tudományos élet számos képviselője általában elfogadja azt a rejtélyekkel övezett hipotézist, mely szerint a viking hajósok felfedezőútjaik során egy különleges napkőkristályt segítségül hívva tájékozódtak a nyílt vízen, akár sűrű köd vagy vastag felhők jelenlétében is. Az elképzelés fontos bizonyítékául szolgálhat többek között egy 1592-ben elsüllyedt viking hajóroncsban, számos navigációs segédeszköz mellett talált izlandipát-kristály is, amit a közelmúltban vetettek részletes elemzés alá *Albert Le Floch* és munkatársai. Cikksorozatunk 5. részében (ÉT 2015/32. szám) ugyanakkor a népszerű hipotézis ellen szóló érveket is felsoroltunk, melyek között az egyre növekvő felhőzöttségű időjárási helyzetekben végzett terepkísérleteink eredményei is kiemelt helyet kaptak.



Tiszta, felhős, borult és ködös égboltok halszemoptikás felvételei, valamint polarizációfok- és iránymintázatai (FARKAS ALEXANDRA FELVÉTELEI)

Az ELTE Környezetoptika Laboratóriumában végzett kutatásaink során ugyanis megállapítottuk, hogy a földrajzi északi irány napkőhasználattal való megállapításának hibája az égbolt felhőzöttségének erősödésével folyamatosan és drasztikusan nő. Tehát ahelyett, hogy – a hipotézis szerint – a különleges napkőkristályok segítették volna a viking hajósokat, borult vagy ködös időben épphogy teljesen félrevezethették őket. Teljes borultság vagy vastag köd jelenlétében ugyanis a viking navigátorok az égboltot nézve hiába próbálták volna használni napköveiket, azokban kevéssé láthatták a nappozíció becsléséhez szükséges periodikus fényintenzitás-változást.

2015 A FÉNY NEMZETKÖZI ÉVE

Ahhoz, hogy a viking navigátorok kordierit, turmalin vagy kalcit napköveik segítségével a lehető legpontosabban következtetni tudjanak a felhő, köd vagy a horizont által takart Nap égi helyére, majd az égtájak irányára, két légköroptikai feltételnek kell teljesülnie: *Első feltételként* az égboltfény polarizációfokának megfelelően nagynak kell lennie, különben – a fent leírtak szerint – a szem előtt ide-oda forgatott napköveken átnézve nem lesz észlelhető az égbolt periodikus kifényesedése és elsötétedése. *Második feltételként* a napkövek megfelelő használatához az égboltfény rezgéssíkjának merőlegesnek kell lennie a fényszórási síkra (amit a megfigyelő, a megfigyelt égi pont és a Nap feszít ki), vagyis az égboltfény polarizációirányának meg kell egyeznie a Rayleigh-modell jósolta iránnyal.

A Rayleigh-modell szerint az eredendően polarizálatlan napfény fotonjai csak egyszer szóródnak a légkörben, így az észlelő számára az égbolt polarizációjának eloszlása a következőképpen alakul: a Nap irányától távolodva a p polarizációfok nulláról fokozatosan növekszik, míg a Naptól 90°-ra el nem éri p = 100 %-os maximumát. Ezután p értéke ismét csökken, s a Nappal ellentétes pontban, az antinap helyén ismét zérus lesz. Az égboltfény polarizációiránya a Rayleigh-modell szerint mindig merőleges a fényszórási síkra. Ha a modell a valóságban az égbolt minden pontjára igaz lenne, akkor a viking navigáció második feltétele a teljes égbolton megvalósulna.

OTKA
K 105054
PUB-I 114496

Valójában azonban a fotonok nemcsak egyszer, hanem többször is szóródhatnak a légkörben a földfelszínre jutásuk előtt, emiatt az égbolt polarizációs tulajdonságai több helyen eltérnek a bemutatott modelltől. Ezen eltérések azt eredményezik, hogy az égbolt egyes részei már nem lesznek alkalmasak a napköves viking navigációra.

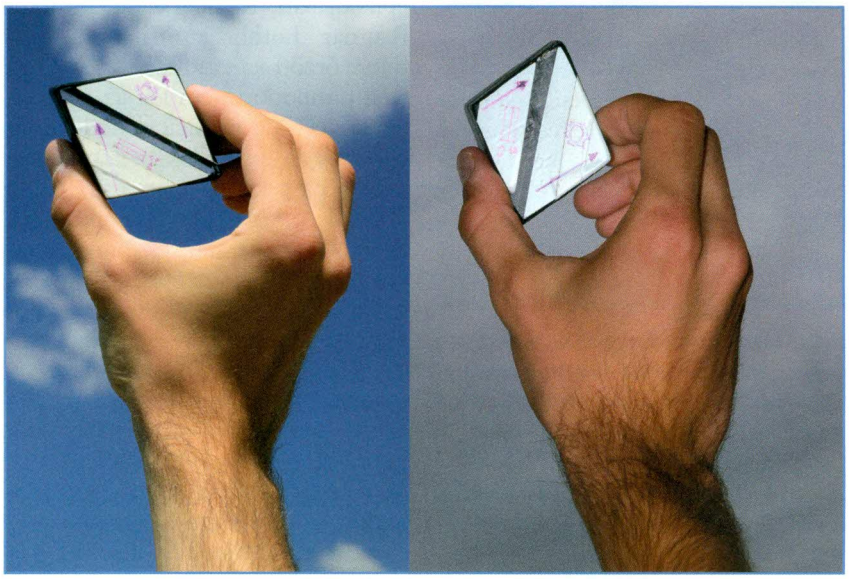
Hol és mikor teljesül?

A teljes égbolt polarizációs mintázatának egy időpontban történő átfogó vizsgálata csak a közelmúlt óta lehetséges, mivel korábban nem álltak rendelkezésre az ehhez szükséges nagylátószögű képalkotó polariméterek. Az égboltfény polarizációjának mérését ezelőtt olyan pontforrású polariméterek segítségével végezték, melyekkel a látótérnek csupán néhány fokos szögtartománya volt lefedhető. Az egész égbolt ilyen pontforrású eszközzel való letapogatása órákat vett volna igénybe, mialatt maga a mérendő polarizációs mintázat is nagymértékben módosult volna a Föld forgása vagy a felhők mozgása miatt. Az ilyen jellegű légköroptikai vizsgálatok tehát mindössze az ég néhány pontjára korlátozódtak. Ennek következtében hosszú ideig nem volt ismert az sem, hogy a viking napkő használatához szükséges két fenti légköroptikai feltétel az égbolt mekkora hányadán teljesül a különböző időjárási helyzetek fennállása esetén. E mérések hiányát 180° látószögű képalkotó polarimetriával pótoltuk különböző hazai és külföldi mérőkampányokon 1999 és 2005 között.

A tiszta és részben felhős égboltok polarizációs mintázatainak vizsgálatát 1999-ben végeztük egy tunéziai sivatagi expedíción. A tiszta ég polarizációjára az jellemző, hogy a p polarizációfok a Nap és az antinap környezetében igen alacsony, illetve nulla, az ég többi részén pedig ennél nagyobb. Értéke a Naptól távolodva fokozatosan nő, majd a Naptól 90°-ra éri el maximumát, ám sehol nem éri el a Rayleigh-modell által jósolt $p = 100\,\%$-ot. p a legpolárosabb sávtól az antinap felé haladva ismét fokozatosan csökken. A derült égbolt polarizációs mintázatain az úgynevezett neutrális (polarizációsan semleges) pontok helye is jól megfigyelhető, ahol $p = 0\,\%$, és a polarizációirány a szoláris-antiszoláris meridián mentén 90°-ot ugrik.

Méréseink rámutattak, hogy a viking navigáció légköroptikai feltételei is ilyen teljesen tiszta égbolt esetén (annak 13–69 %-án) teljesülnek leginkább, hiszen a Rayleigh-modell jósolta mintázathoz az ilyen meteorológiai szituációban mért jellemzők hasonlítanak a legjobban. A legnagyobb eltérések a Nap/antinap és a neutrális pontok között tapasztalható, ahol egyrészt az égbolt polarizációfokának drasztikus csökkenése miatt a fent említett első légköroptikai feltétel nem teljesül, másrészt pedig itt az égboltfény rezgéssíkja pont merőleges a Rayleigh-modell által jósolt irányra, miután a második feltétel sem teljesül. A tiszta égbolt más részein hiába teljesül azonban a két feltétel, a viking hajósoknak napsütötte ég alatt hajózva nem volt szükségük napkövekre, hiszen csupán napiránytűjük használatával is képesek voltak a nyílt vízi tájékozódásra.

A feltételek teljesülése ugyanakkor a napmagasságtól is függ: minél kisebb a Nap horizonttól mért szögtávolsága, annál nagyobb a részben felhős ég viking navigációra alkalmas hányada. Alacsony napmagasság esetén ugyanis a tiszta égboltra jellemző szórási mintázat a felhők alatt is ki tud alakulni a Nap által közvetlenül megvilágított légrétegen. A felhők jelenléte tehát önmagában nem zárja ki a napkövek használhatóságát, részben felhős időben akár a navigációs módszer mindkét légköroptikai feltétele megvalósulhat.



A kalcitnapkő kettős résképének periodikus sötétedése és világosodása derült égbolt esetén könnyen észlelhető, ám borult égbolt alatt a kristály forgatásakor nincs látható intenzitáskülönbség (FARKAS ALEXANDRA FELVÉTELEI)

Borúra derű?

Felhők jelenlétében már gyakran felléphet a többszörös fényszórás, aminek következtében a felhőfény polarizációiránya eltérhet a Rayleigh-modell által jósolt iránytól. Azt is meg kell ugyanakkor említenünk, hogy a felhőkről érkező fény polarizációfoka is alacsonyabb lesz, mint a környező tiszta égbolté, így összességében a felhőkkel részben borított égboltnak már csak kisebb hányadán (4–69 %-án, $p_{felhős}$ = 14–16 %) teljesülnek a viking navigáció légköroptikai feltételei.

2005-ben végzett arktiszi és magyarországi mérőkampányaink eredményei szerint meglepő módon a második feltétel még teljesen borult égbolt esetén is teljesülhet, a borult ég polarizációirány-mintázata ugyanis nagyon hasonlónak bizonyult a tiszta égéhez ugyanazon nappozíció mellett. Ilyenkor azonban az égbolt fényének polarizációfoka olyannyira lecsökken (p_{tiszta}=21–34%, p_{borult}=3–8%), hogy a napkő szemünk előtt történő forgatásakor alig lesz észlelhető az égbolt periodikus fényességváltozása. Az első légköroptikai feltétel teljesülésének hiánya – a hipotézissel ellentmondásban – tehát valószínűtlenné teszi, hogy teljesen borult égbolt alatt egy viking navigátor képes lett volna napkövével megállapítani a Nap égi helyét.

A napkővel való navigáció például akkor működhetett, ha a Napot vastag felhő takarta, ugyanakkor az égbolt magasabb részei felhőmentesek voltak
(BARTA ANDRÁS FELVÉTELE)

Borult időben az égbolt teljesen polarizálatlanná válhat, így ilyen esetben a napkő csak nagy bizonytalansággal használható (BARTA ANDRÁS FELVÉTELE)

A vikingek fő hajózási útvonalain ma is gyakran alakul ki a tengerfelszín közelében hömpölygő köd, ami akár olyan sűrűvé is válhat, hogy a napkorongot teljesen elrejtheti az utazó szeme elől. Grönland térségében például a ködös napok száma helyenként az évi 60 napot is meghaladhatja, így a teljesség igényével azt is feltártuk, hogy az égbolt-polarimetriai viking navigáció légköroptikai feltételei ilyen időjárási helyzetekben miként teljesülhetnek.

Köd előtte, köd utána

Ennek eldöntéséhez 2005-ben első ízben végeztük el egy Északi-sark környéki expedíción a ködös égbolt polarizációs mintázatának vizsgálatát. Az eredmények azt mutatják, hogy ha a ködöt felülről közvetlen napfény éri (azaz a köd felett nincsenek felhők), akkor a ködös égbolt polarizációirány-mintázata nagyon hasonló a tiszta égéhez. E hasonlóságot az okozza, hogy a Nap által megvilágított ködben a napfény fő szóródási módja a köd apró vízcseppecskéin vagy jégkristályain történő egyszeres szórás. A várttal ellentétben tehát napsütötte ködben a napkőhasználat második légköroptikai feltétele közel annyira teljesül, mint tiszta égboltnál. Ugyanakkor a ködös ég fényének polarizációfoka a borult égboltéhoz hasonlóan nagyon lecsökken ($p_{ködös}$ = 8-9 %), ami – a Ramskou-hipotézis fő üzenetével ellentétben – tovább korlátozza a napköves navigáció lehetőségét.

A vakmerő viking felfedezők ködben való tájékozódásának problematikája a közelmúlt nagysikerű, *Vikingek* című filmsorozatának egyik epizódjában is megjelent, amikor Ragnar Lothbrok hiába forgatta féltve őrzött kalcitkristályát, semmilyen támpontra nem lelt az égen. A napkővel való navigáció ködös időben csak akkor működhetett megfelelően, ha a köd csupán a vízfelszín közvetlen közelében hömpölygött, az égbolt magasabb részei ugyanakkor tiszták, felhőmentesek voltak. A tiszta égrészekről választott két – elegendően poláros – égi mérőpontban ugyanis a viking navigátor viszonylag nagy pontossággal megállapíthatta napköveivel a köd által takart Nap égi helyét.

Összefoglalásként tehát elmondhatjuk, hogy a tiszta égbolt polarizációs tulajdonságait a felhőzet megjelenése nagymértékben leronthatja, borult időben és ködben pedig akár a teljes égbolt gyengén polárossá vagy teljesen polarizálatlanná válhat. Emiatt a viking navigátorok már a háromlépéses módszerük első lépésekor nagy hibát követhettek el, azaz csak igen nagy bizonytalansággal tudták meghatározni azon égi főköröket, amelyek mentén a Nap elhelyezkedett. Az e hiba miatt felmerülő pontatlanság a második és a harmadik navigációs lépés hibájával összeadódva már nagyban megnehezíthette, vagy akár teljesen ellehetetleníthette a nyílt vízen történő további tájékozódásukat.

HEGEDÜS RAMÓN
FARKAS ALEXANDRA
HORVÁTH GÁBOR

REJTVÉNYKÉRDÉS

A Rayleigh-modell alapján mekkora az égboltfény polarizációfoka a Naptól 90° szögtávolságra?

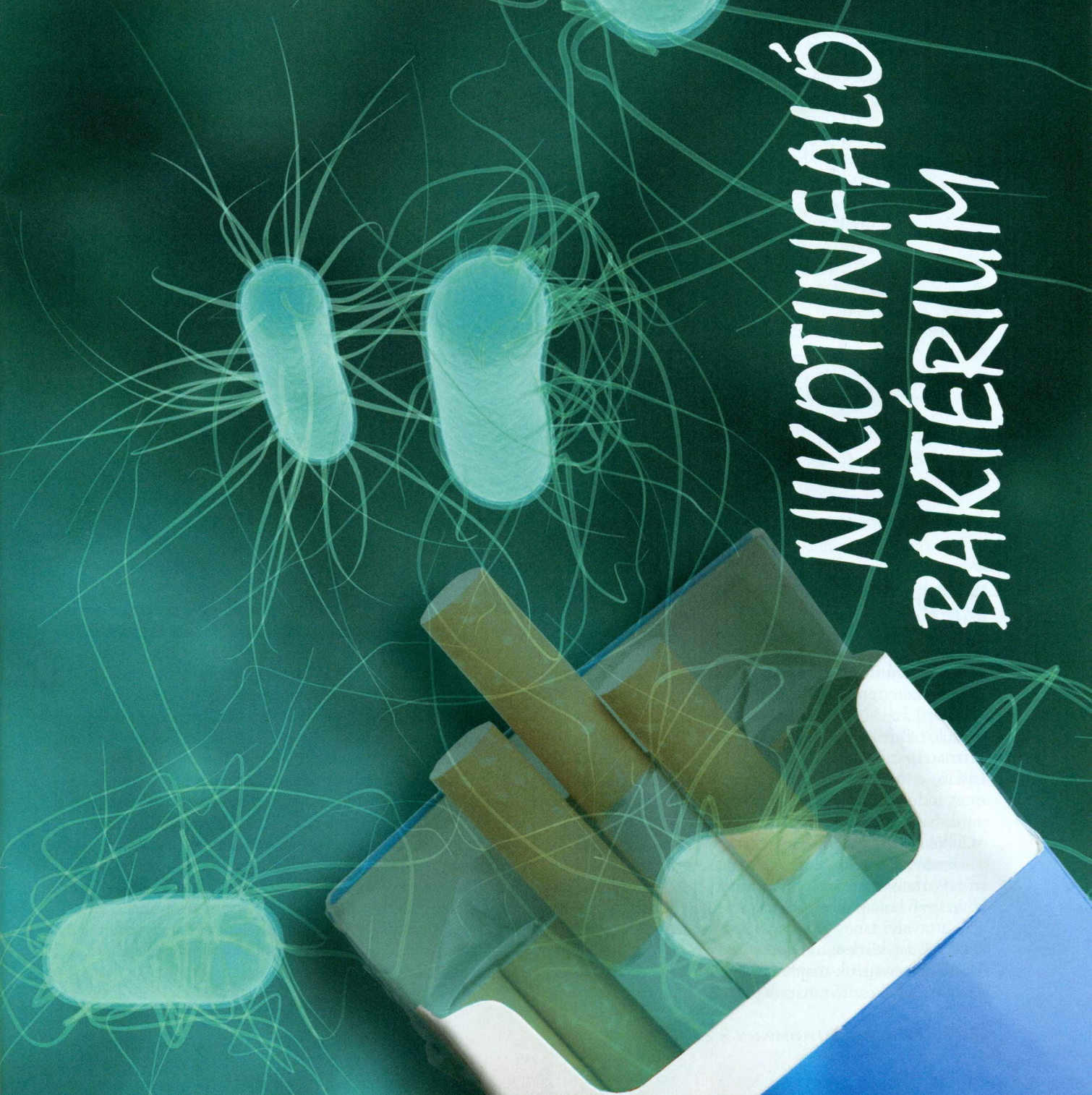
EURÓPA FARKASAI • A TEST IGÁSLOVA • A CSOK MINT MANKÓ • FIGYELŐ SZEMEK

LXX. évfolyam ■ 36. szám ■ 2015. szeptember 4. Ára: 350 Ft

Előfizetőknek: 300 Ft

ÉLET és TUDOMÁNY

Digitális változatban: dimag.hu



NIKOTINFALÓ BAKTÉRIUM