GÁL JÓZSEF–HORVÁTH GÁBOR–POMOZI ISTVÁN–RÜDIGER WEHNER

Az égbolt polarizálatlan pontjai

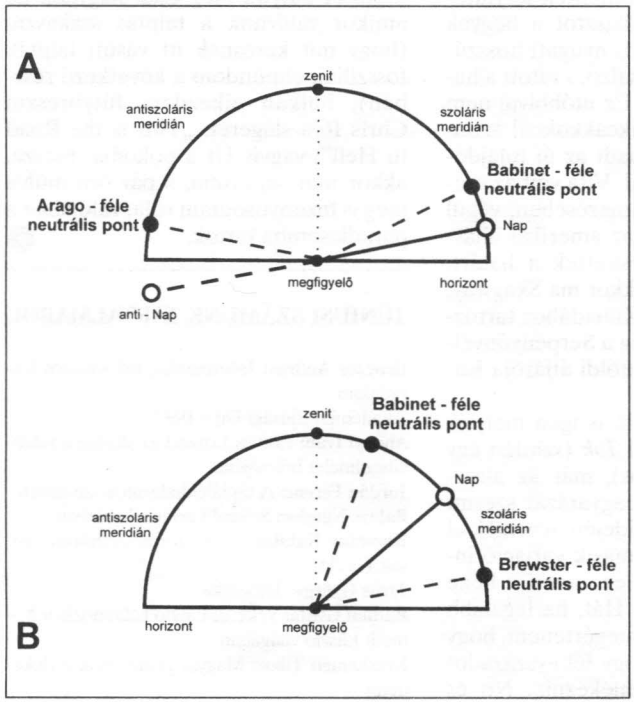
Második rész

Az Arago-pont 20–30°-ra helyezkedik el a tiszta égbolton az anti-Nap fölött a szoláris meridiánon **(1A ábra)**. Mivel az *Arago-pont* az égboltnak a Nappal szemközti, polárosabb és sötétebb félgömbjén keletkezik, ezért a három neutrális pont közül ez figyelhető meg a legkönnyebben. Ez az oka annak, hogy az Arago-pontot sokkal többször vizsgálták tudományos céllal, mint a másik kettő neutrális pontot együttvéve.

A *Babinet-pont* a szoláris meridiánon 25–30°-ra található a Nap fölött **(1. ábra)**. E helyzete teszi lehetővé, hogy bármikor megfigyelhető, ha a Nap a horizont fölött tartózkodik, továbbá több tíz percig is észlelhető napfelkelte előtt és napnyugta után. Mivel a Babinet-pont az égboltnak a Naphoz közelebbi és így világosabb és kevésbé poláros félgömbjén alakul ki, ezért valamivel nehezebben észlelhető, mint az Arago-pont.

A *Brewster-féle neutrális pont* 25–30°-ra keletkezik a szoláris meridiánon a Nap alatt **(1.B ábra)**. Mivel az égboltnak a Nap és a horizont közti része a legvilágosabb, és a horizonthoz közel a pára és az aeroszol a többszörös fényszórás miatt jelentősen csökkenti a polarizációfokot, ezért a Brewster-pontot igen nehéz megfigyelni.

1. ábra. Az égbolt-polarizáció Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontjainak az elhelyezkedése a szoláris és az antiszoláris meridiánon



A neutrális pontok vándorlása

Szokványos légköri viszonyok között a tiszta égbolton csak két neutrális pont látható egyszerre: vagy az Arago- és a Babinet-pont (1A ábra), vagy pedig a Babinet- és a Brewster-pont (1B ábra). A Nap égbolton történő vándorlásával szinkronban a neutrális pontok is mozognak az égen. Az Arago-pont az anti-Nap helyváltoztatását követi, ami ellentétes irányú a Napéval: pl. amint napkelte után a Nap egyre feljebb kúszik az égen, az Arago-pont egyre lejjebb vándorol, mígnem a horizont alá bukva teljesen eltűnik. Naplementekor természetesen ellenkező értelmű a helyváltoztatása. A Babinet- és Brewster-pontok ellenben a Nap mozgását követik: pl. a Nap emelkedésekor egyre közelebb kerülnek hozzá, és mikor a Nap a zenitre ér (ami persze csak a térítőkörök között fordulhat elő), akkor e két pont egyetlen neutrális ponttá olvad össze, amelynek pozíciója egybeesik a Napéval.

Általánosan elterjedt hibának számít az optikai és a meteorológiai tankönyvekben (pl. *Czelnai* Rudolf: Bevezetés a meteorológiába I., Tankönyvkiadó, 1979 vagy *Budó* Ágoston és *Mátrai* Tibor: Kísérleti fizika III., Tankönyvkiadó, 1980), hogy egyazon ábrán egyszerre szokták ábrázolni mindhárom neutrális pontot úgy, mintha azok egy időben lennének észlelhetőek a horizont fölött.

Meteorológiai jelentőségük

Tudománytörténeti érdekesség, hogy a neutrális pontok pozíciómérésének sokkal több időt és energiát szenteltek, mint az égbolt-polarizáció bármilyen más sajátságának. Ennek oka, hogy a neutrális pontok pontos helye az égbolton érzékeny indikátora a légkörbeli aeroszol mennyiségének és fajtájának. Minél több az aeroszol mennyisége, annál erőteljesebb a fény légkörbeli többszörös szóródása, annál kiterjedtebbek a negatívan poláros égbolttartományok, s annál nagyobb a neutrális pontoknak a Naptól, ill. az anti-Naptól mért szögtávolsága.

Ily módon a neutrális pontok számos meteorológiai vizsgálat tárgyai voltak úgy a 19. mint a 20. század folyamán. Tudományos népszerűségük és a légkörtudományok-beli gyakorlati jelentőségük ellenére eddig közvetlenül még senki sem látta e pontokat, aminek az oka mindeddig a fénypolarizáció eloszlását nagy térbeli felbontással mérni és megjeleníteni képes, nagy látószögű polariméterek hiánya volt.

Észlelésük

A neutrális pontok legtöbb megfigyelését vizuális úton végezték az ún. Savart-féle polariszkóppal. Ezt az egyszerű eszközt széles körben alkalmazták a 19. század első évtizedeitől kezdve, és a modern

elektronikus polariméterek még manapság sem tudták teljesen kiszorítani a használatból. A Savart-polariszkópban két kvarckristálylapka van befogva egy fémcső belsejében oly módon, hogy mögöttük egy analizátor, pl. Nicol-prizma vagy másfajta polárszűrő helyezkedik el. Ha ezen optikai rendszeren részlegesen lineárisan poláros fény halad át, akkor a látótérben párhuzamos fekete-fehér sávok sorozata keletkezik és válik megfigyelhetővé. Ha a polariszkópba beeső fény polarizációja pozitívról negatívra vált (vagy fordítva), akkor a poláros fény keltette sávok a sávköz másfélszeresével tolódnak el oldalra. Ily módon az égbolt egy neutrális pontja a polariszkóp látóterében megjelenő sávrendszer hirtelen eltolódásának formájában észlelhető. E polariszkópot egy, a térszögek mérésére alkalmas goniométerre szerelve, nagy pontossággal meghatározható a neutrális pontoknak a horizonttól mért szögtávolsága (elevációja); nem kell mást csinálni, mint leolvasni a goniométer függőleges szögállását a sávok eltolódásának bekövetkeztekor.

A Savart-polariszkóppal tehát detektálhatók a neutrális pontok, és akkurátusan mérhető az elevációjuk, de nem tehetők közvetlenül láthatóvá polarizációjuk nagy felbontású hamis színes eloszlástérképének megjelenítése formájában. Mivel a Savart-polariszkóp alkalmatlan a polarizációfok meghatározására, ezért más típusú polariméter szükséges a neutrális pontok megjelenítésére.

A keskeny sávú interferenciaszűrőkkel ellátott modern elektronikus polariméterekkel a hullámhossz függvényében határozható meg a neutrális pontok pozíciója. Ezen eszközök olyan kis, egy-két fokos nyílásszöggel rendelkeznek, ami alkalmatlanná teszi őket az égbolt polarizációs mintázatának kimérésére. Elvileg persze elképzelhető lenne, hogy egy ilyen kis látószögű polariméterrel számítógépes vezérléssel letapogatnánk az égbolt adott, nagyobb kiterjedésű tartományát, hogy kimérjük annak polarizációs mintázatát. Ez azonban olyan bonyolult és időigényes művelet lenne, amit a terepen csak igen körülményesen lehetne elvégezni, nem beszélve arról, hogy a pásztázás akár több percig is tartó ideje alatt az égbolt polarizációs mintázata a Nap mozgását követve több fokkal is elfordulna. Ezt az elfordulást még egy, a csillagászati távcsöveknél szokványosan alkalmazott óragéppel követni is kellene, ami további bonyodalmakat okozna. Nem véletlen, hogy eddig még senki sem alkalmazott hasonló metódust az égbolt polarizációjának tanulmányozására.

Ezek után érthető, hogy miért nem készült eddig egyetlen „polarizációs portré" sem a neutrális pontokról. A légköri optikában igazán csak e pontok pontos helyének ismerete volt lényeges, „lencsevégre kapásuk" pedig gyakorlatilag kivitelezhetetlenül bonyolultnak bizonyult.

A neutrális pontok portréja

Az elmúlt évek során kifejlesztettünk egy távérzékelési módszert a fénypolarizáció-érzékeny látórendszerű állatok vizuális környezetében előforduló természetes polarizációs mintázatok kimérésére és grafikus megjelenítésére. E módszer birtokában pótolni tudtuk a neutrális pontok 1810-es, ill. 1840-es években történt felfedezése óta fennálló azon hiányt, hogy még nem készült róluk portré, azaz eddig senki sem láthatta őket közvetlenül. Tudományos értékű portré alatt a tiszta égbolt neutrális pontok környéki polarizációs mintázatának, azaz a polarizációs fok és irány térbeli eloszlásának nagy felbontású kimérése és a kvantitatív adatok hamis színes eloszlástérképek formájában való ábrázolása értendő.

Erre egy közép-tunéziai sivatagi expedíció során kerülhetett sor, amit a Zürichi Egyetem Állattani Intézete szervezett Rüdiger *Wehner* professzor vezetésével. Ennek során a szerzők egyike (H. G.) részletesen kimérte a tunéziai égbolt polarizációs mintázatát az idő függvényében, három különböző sivatagi helyszínen, a spektrum ultraibolya és látható tartományaiban. Mindez biológiai szempontból fontos, mivel e biotópban élnek azok a *Cataglyphis* nemzetséghez tartozó sivatagi hangyák, amelyek szeme érzékeny a fénypolarizációra, és térbeli tájékozódásuk részben az égboltfény polarizációs mintázatán alapul, mikor a Napot felhők miatt nem láthatják. A vikingekhez hasonlóan e hangyák is az ég polarizáció-eloszlásának tükörszimmetriája segítségével képesek meghatározni az orientációjukhoz szükséges viszonyítási irányt, a szoláris meridián irányát.

A vikingeknek azért volt szükségük égi viszonyítási jelekre, mert a nyílt tengeren nem volt más, aminek alapján tájékozódhattak volna. A sivatagi hangyák a homokos területeken élnek föld alatti fészkeikben, és a felszínen a nagy hőség miatt elhullott apró rovarokra vadásznak. A fészek nyílását elhagyva véletlenszerű bolyongással kutatnak e tetemek után. Mihelyt találnak valamit, nyílegyenesen rohannak vissza a fészekhez. Hogy ezt megtehessék, bolyongásuk során folytonosan összegezniük kell az elmozdulásuk vektorait, azaz minden pillanatban tudniuk kell, hogy éppen mekkora a helyvektoruk a fészek nyílásától mérve. Hogy ezt tényleg tudják, azt bizonyítja a zsákmány megtalálását követő, előbb említett viselkedésük. Ehhez a térbeli (kétdimenziós) vektorösszegzéshez van szükségük egy viszonyítási irányra, amely nem más, mint a Nap, ill. annak hiányában a szoláris meridiánnak az égbolt polarizációjából kikövetkeztetett iránya.

Az égbolt polarizációja azonban helyről helyre, sőt ugyanazon helyen a meteorológiai viszonyok függvényében is erősen ingadozik. Mivel a légkör páratartalma erősen csökkenti az égboltfény polarizációfokát, ezért pl. az igen száraz belső-tunéziai hegyekben – ahol szintén élnek sivatagi hangyák – nagyobb lehet az égbolt polarizációja, mint a sokkal párásabb tengerparti területeken vagy a kiszáradóban levő sós mocsarakban (az ún. „chott"-okban). E helyi eltérés pedig hatással lehet a sivatagi hangyák viselkedésére és tájékozódására. Az expedíció fő célja e hipotézis tesztelése volt. Videopolarimetriás méréseink melléktermékeként azonban sikerült elkészítenünk az Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontok első portréját is.

A tunéziai terepen fotóállványra rögzített videokamerával vettük fel az égbolt kiválasztott régióiban az égboltfény erősségének és színének kétdimenziós eloszlását, miközben az objektív lencse előtt egy szürke lineáris polárszűrőt forgattunk a kamera dőlésszögének, az optika fókuszának és apertúrájának, valamint az érzékelő fényintegrálási idejének és erősítésének kézi beállítása után. Kezdetben a polárszűrő fényáteresztési iránya függőleges volt, amit a felvétel során kétszer elforgattunk 45°-kal, az aktuális irányt a kamera mikrofonjába diktálva. Ily módon lényegében három mérést végeztünk az égboltfény adott tartományon belüli intenzitásának eloszlására.

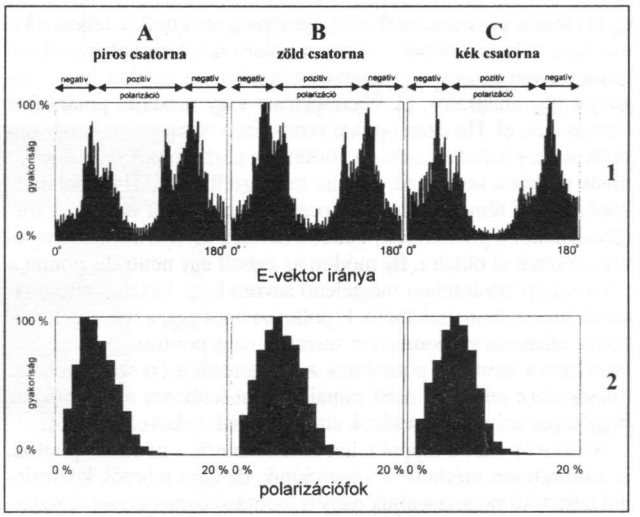
Hazatérve a videofelvételeket tartalmazó kazettákkal, budapesti számítógépes képfeldolgozó laboratóriumunkban képről képre digitalizáltuk a tunéziai égbolt fényintenzitás-eloszlását tartalmazó mintázatokat. A polárszűrő mindhárom, $\varphi=0°$, 45°, 90°-os irányulása esetén 25 digitalizált képet átlagoltunk, hogy ezzel szűrjük ki a videojel csekély zaját. Ebből a három kiátlagolt képből megkaptuk az I fényerősség φ szerinti modulációját. Az e modulációra illesztett szinuszfüggvény paramétereiből meghatároztuk a kép minden képpontjára I_{max} és I_{min}, valamint I_{max} irányának, α-nak a numerikus értékét. Ezekből az adatokból kiszámítottuk az $I=(I_{max}+I_{min})/2$ teljes fényintenzitást, a $\delta=(I_{max}-I_{min})/(I_{max}+I_{min})$ polarizációfokot az összes képpontra. Végezetül a számítógép képernyőjén az I fényerősség, δ polarizációfok és α polarizációs irány kétdimenziós eloszlásának hamis színes térképeit jelenítettük meg. Kihasználva, hogy a videokamera a vörös ($\lambda=730$ nm), zöld ($\lambda=600$ nm) és kék ($\lambda=470$ nm) színtartományban egyidejűleg készít felvételeket, a fenti képfeldolgozás eredményeként a látható spektrum e három tartományában tudtuk meghatározni az égbolt polarizációs mintázatait.

Miután a tunéziai videopolarimetriás felvételeinket a fentiek szerint kiértékeltük és az égbolt polarizációs mintázatait a számítógép képernyőjén megjelenítettük, helyenként furcsa, kissé diffúz sötét foltokat tapasztaltunk a polarizációfok és a polarizációs irány hamis színes térképein. Ez arra utalt, hogy e foltokban a polarizá-

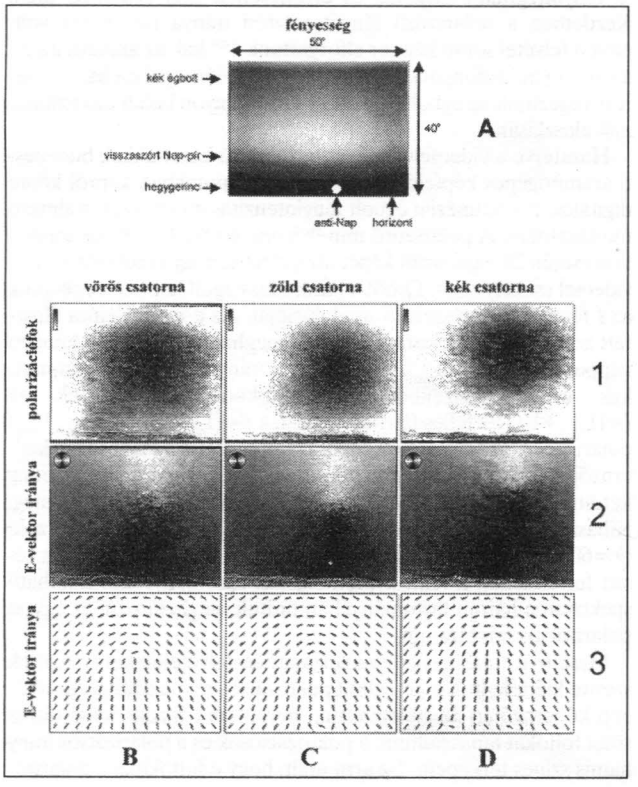
ciófok nagyon alacsony értékeket, középütt pedig egyenesen nullát vesz fel. Kezdetben azt hittük, hogy valamilyen felvételi vagy kiértékelési hiba történt. Arra gondoltunk pl., hogy a sötét foltok helyén talán túl nagy volt a fényintenzitás, s a videofelvétel beégett, amit a kiértékelő program automatikusan zérus polarizációfokúnak értelmez. Hamar kiderült azonban, hogy másról van szó, mert a szóban forgó foltokban egyáltalán nem volt kritikusan magas a fényerősség, továbbá szisztematikus módon az égboltnak mindig csak bizonyos régióiban jelentkeztek a rejtélyes sötét foltok.

Utánanéztünk hát a szakirodalomban, s kiderült, hogy az általunk talált sötét foltok mindig ott jelentkeztek, ahol az Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontoknak is lenniük kell a felvételek időpontjában. Így sikerült végül is, akaratunkon kívül, elkészítenünk a poláros égbolt neutrális pontjainak a portréját.

Ebben szerencsés körülménynek számított, hogy éppen a tunéziai sivatagban és pont augusztusban készültek a videopolarimetriás felvételek. E hely és időpont ideális volt, mert ott és akkor a légkör általában nagyon tiszta, minimális mennyiségű párával és aeroszollal. Ennek következményeként az égbolt polarizációfoka megfelelően magas volt még a neutrális pontok környékén is ahhoz, hogy e pontok könnyen kimutathatóvá váljanak. Az egyszerűség kedvéért cikkünkben csak a legkedveltebb neutrális pont, az Arago-pont portréját közöljük azzal a megjegyzéssel, hogy a másik kettőé, a Babinet- és a Brewster-ponté is kvalitatíve teljesen hasonlóan néz ki.



2. ábra. Az égbolt-polarizáció Arago-féle neutrális pontjának videopolarimetriás portréja. (A) Az égbolt fényességének eloszlása az Arago-pont környékén a spektrum látható tartományában (ahogyan az emberi szem érzékeli). A kép vízszintes, ill. függőleges kiterjedése rendre 50°, ill. 40°. Az anti-Nap helyét egy fehér pont jelöli. A horizontot egy sötét hegyvonulat határolja. (B–D) Az égbolt δ polarizációfokának (1. sor) és függőlegestől mért polarizációs irányának (2., 3. sor) mintázata a spektrum vörös (B oszlop, λ=730 nm), zöld (C oszlop, λ=600 nm) és kék (D oszlop, λ=470 nm) tartományában mérve. A δ és α eltérő numerikus értékeit különböző szürke árnyalatok kódolják: (i) minél nagyobb a polarizációfok, annál világosabb a szürke tónus (fehér, δ>5%; fekete, δ=0%); (ii) minél sötétebb a szürke tónus, annál jobban eltér a polarizációs irány a vízszintestől (fekete: α=0°, fehér: α=90°). A 3. sorbeli fekete pálcikák a helyi polarizációs irányt mutatják a pálcikák közvetlen környékére átlagolva



3. ábra. A polarizációs irány (1. sor) és a polarizációfok (2. sor) gyakoriságának eloszlása a spektrum vörös (A oszlop), zöld (B oszlop) és kék (C oszlop) tartományában az égboltnak a 2. ábrán látható Arago-pontjára és környékére számolva

A **2A ábra** az égbolt Arago-pont környéki fényességének a látható spektrumbeli eloszlását mutatja, ahogyan azt az emberi szem vagy egy videokamera érzékeli. A felvétel 1996. augusztus 8-án naplementekor, helyi idő szerint 19.15-kor készült a közép-tunéziai Metlaoui város közelében a sivatagi hegyekben. Az égboltnak a lenyugvó Nappal átellenes oldalán a hegyvonulattal határolt horizont közelében a nyugvó Nap visszaszórt vöröses fénye volt látható, valamint följebb az ég mély kékje. A 2A ábrából nyilvánvaló, hogy a fénypolarizációra vak emberi szem képtelen észlelni az égbolt neutrális pontjait, mivel azok pozíciója sem az égbolt fényintenzitásának, sem pedig színének az eloszlásával nem korrelál. Ugyanakkor az Arago-pont tisztán kivehető az égboltfény polarizációfokának (2. ábra 1. sora) és polarizációs irányának (2. ábra 2. és 3. sora) a térképein. A 2. ábra 1. sorában látható, hogy az égboltfény teljesen polarizálatlan (δ=0%) a neutrális pont közepén és a polarizációfok fokozatosan nő ettől a középponttól távolodva.

A 2. ábráról az is leolvasható, hogy az Arago-pont a vizsgált három színtartomány közül a kékben van a legtávolabb az anti-Naptól. Az Arago-pontnak az anti-Naptól mért szögtávolsága az egyes színtartományokban rendre $\beta_{vörös}$=24,4°, $\beta_{zöld}$=22,4° és $\beta_{kék}$=29,3°. Tehát a videopolarimetriás felvételünk idején a zöld színtartományban az Arago-pont kissé közelebb volt az anti-Naphoz, mint a vörösben. Ez a Föld felszínéről történő fényvisszaverődésre visszavezethető jelenség kivételesnek számít, hiszen az Arago-pont anti-Naptól mért szögtávolsága általában nő, amint a hullámhossz csökken.

A Föld érdes felületrészeiről történő visszaverődés többé-kevésbé függőlegesen poláros fényt juttat a légkörbe. Ez megnöveli az égbolt negatív polarizációjú régiójának kiterjedését azon spektrális tartományokban, amelyekben a felület fényvisszaverő képessége (albedója) nagy. Videopolarimetriai méréseink helyén, a közép-tunéziai Metlaoui sivatagi város környékén a talaj és a hegyek jelleg-

zetes vörösesbarna színűek voltak. Így a földfelszín albedója a spektrum vörös tartományában volt nagy. Ennek az volt a következménye, hogy a vörös tartományban jelentős mennyiségű, függőlegesen poláros fény verődött vissza a felszínről. Ez megnövelte az égbolt negatív polarizációjú tartományát, ami az Arago-pontnak az anti-Naptól való eltolódásához vezetett a vörös színben.

Meteorológusok korábban beszámoltak már az Arago-pontnak az anti-Naptól való hasonló eltolódásáról olyan területeken, amelyeket friss hó, ill. fehér homok fedett. Ezekben az esetekben azonban az Arago-pont eltolódását az összes spektrális tartományban megfigyelték, mivel a felszíni fényvisszaverődés a spektrum minden tartományában nagy volt a hó, ill. homok fehérségének köszönhetően.

Nagy kiterjedésű vízfelületekről történő fénytükröződés az Arago-pontot az ellenkező irányba tolja el. A vízfelszíni fényvisszaverődés ugyanis horizontálisan poláros fényt juttat a légkörbe a spektrum minden tartományában, ami megnöveli az égbolt pozitív polarizációjú területét. Ez az Arago-pontnak az anti-Naphoz való közeledését eredményezi az összes spektrális tartományban.

A polarizációs irány 2. ábra 2. és 3. sorabeli mintázatai mutatják, hogy az Arago-pont és az anti-Nap között az égboltfény E-vektora többé-kevésbé függőleges, azaz a polarizáció negatív, míg az Arago-pont fölött az E-vektorok többé-kevésbé vízszintesek, azaz a polarizáció pozitív. Az E-vektor irányeloszlásának mintázatain látható továbbá, hogy a polarizáció miként vált negatívról pozitívra, amint átszeljük a neutrális pontot az antiszoláris meridiánnal párhuzamosan.

A **3. ábra** hisztogramjai a polarizáció irányának és fokának az eloszlását ábrázolják az égboltnak a 2. ábrán bemutatott Arago-pontjára és környékére számítva. A 3. ábra 1. sora jól demonstrálja, hogy a pozitív és negatív polarizációjú régiók szimmetrikusan helyezkednek el az Arago-pont körül. Ugyanezen ábra 2. sora mutatja, hogy az Arago-pont körül a polarizációfok kis értékeket vesz fel (δ<14–15%).

Összefoglalva az eddigieket megállapíthatjuk, hogy a 2. ábra polarizációs mintázatai és a 3. ábra hisztogramjai híven tükrözik az égbolt neutrális pontjainak fő jellemzőit: (i) a Naptól és anti-Naptól mért szögtávolságukat, (ii) e szögtávolságoknak a fény hullámhosszától való függését (iii), hogy miként befolyásolja mindezt a Föld felszínéről történő fényvisszaverődés, (iv) a pozitív és negatív polarizációjú égbolt tartományok elhelyezkedését a környékükön, valamint hogy (v) nincs semmiféle, szabad szemmel megfigyelhető korreláció a neutrális pontok pozíciója és az égbolt fényességének, ill. színének térbeli eloszlása között.

Videopolarimetria mint távérzékelési módszer a légkörfizikában

Az égboltfény polarizációs sajátságainak mérésére hagyományosan használatos polariméterek legtöbbjében fényelektromos sokszorozót (angolul *photomultipliert*) alkalmaznak érzékelőként, aminek azonban rendkívül kicsi (1–2 fokos) a látószöge. Az elmúlt évtizedben a távérzékelésben is felvetődött az igény a polarizációs információk szélesebb látószögbeli mérésére és képek formájában való ábrázolására. Ez vezetett kezdetben fényképészeti lemezeknek és filmeknek, majd televíziós képcsöveknek, legújabban pedig videokameráknak mint fénydetektoroknak az alkalmazására a polarimetriában is.

A nagy látószögű polarimetria fejlődésének egyik útja a fényképészeti technikát hívta segítségül, s ezt kombinálta a fényképezőlencse elé helyezett lineáris polárszűrővel, valamint színszűrőkkel. Elsőnek *Walraven* (1981) elemezte részletesen az így kapott „polarizációs fényképek" kiértékelésének általános technikáját. E polarizációs fotográfiai módszert többen használták már különféle meteorológiai vonatkozású vizsgálatokra is. *Curran* (1978) pl. a felületi talajnedvesség becslésére használta a földfelszín fénypolarizációjának mérése alapján. *Fitch* és munkatársai (1984) hasonló módszerrel jutottak polarizációs fényképekhez egy gabonatábla különböző fejlődési stádiumaiban, amiből a gabonanövények érési és egészségi viszonyaira következtettek. *Wehner* (1976) nagy látószögű polarizációs képeket készített az égboltról egy 180°-os látóterű „halszem-optikával" és egy elé helyezett lineáris polárszűrővel az égi polarizáció kvalitatív demonstrálása céljából a Nap különböző állásaira. *Können* (1985) is polarizációs képek sorát vonultatta fel a természetben előforduló poláros fényről szóló híres könyvében. *Coulson* és társai (1986) az űrsikló *(Space Shuttle)* fedélzetéről készítettek fényképeket a Föld felszínéről és különféle kozmikus objektumokról egy lineáris polárszűrőn át. Nemrég Wehner (1997) közölt olyan polarizációs fényképeket az egész égboltról, amelyeket egy átlátszó üveg félgömbre rögzített, kör mentén lineárisan polarizáló szűrőkön (ún. polarizációs iránykeresőkön, angolul *axisfinder*eken) át készített. Legutóbb pedig *North* és *Duggin* (1997) fejlesztett ki gyakorlati módszert az égboltfény polarizációs paraméterei eloszlástérképeinek meghatározására, négylencsés fényképezőgép felhasználásával.

A nagy látószögű polarimetria másik fejlődési útja a videotechnikát ötvözi a kamera objektív lencséje elé helyezett lineáris polárszűrővel. *Prosch* és munkatársai (1983) egy ilyen videopolariméterrel repülőgépről figyelték meg a földfelszínt. *Egan* (1986) hasonló képalkotó polarimétert tervezett űrszondákon való alkalmazásra. Legújabban pedig több szerző használt videopolarimetriát a robotlátás területén (*Wolff*, 1993), felhők polarizációjának űrszondáról történő mérésére (*Deschamps* és munkatársai, 1994), és az állatok polarizáció-látásának fiziológiai és viselkedési vizsgálatában, valamint ezen állatok vizuális környezetében fellépő polarizációs mintázatok feltérképezésére (*Cronin* és munkatársai, 1994; *Shashar* és munkatársai, 1995; *Horváth* és *Zeil*, 1996; *Horváth* és *Varjú*, 1997; *Horváth* és munkatársai, 1997).

A videopolarimetria gyors fejlődése és a légköri optikabeli kényelmes alkalmazhatósága ellenére sem született meg eddig az égbolt-polarizáció Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontjainak a portréja. Jelen cikkünk célja az volt, hogy e hiányt pótoljuk, bemutassuk az idevonatkozó eredményeinket és azok tudománytörténeti hátterét.

Köszönetnyilvánítás: *Kutatómunkánkat a magyar Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA F-014923) és a svájci Nemzeti Tudományos Alap (Swiss National Science Foundation, Grant 31-43317.95) támogatta.*

IRODALOM

[1] Arago, F. (1855) Meteorological Essays. (English translation) Longman–Brown–Green–Longmans, London
[2] Babinet, J. (1840) Sur un nouveau point neutre dans l'atmosphere. Comptes Rendus 11, 618–620
[3] Brewster, D. (1847) On the polarisation of the atmosphere. Philosophical Magazine and Journal of Science 31, 444–454
[4] Gazda, I., Sain, M. (1978) Fizikatörténeti ABC. Tankönyvkiadó, Budapest
[5] Horváth, G. (1986) Fényszóródás a természetben. Természet Világa 117, 250–254
[6] Horváth, G. (1986) Kék szín a természetben. Természet Világa 117, 298–301
[7] Horváth, G. (1986) Az Avogadro-szám meghatározása az égbolt kék színéből. A fény szóródása. Fizikai Szemle 36, 214–227
[8] Strutt, J. W. (Lord Rayleigh) (1871) On the light from the sky, its polarisation and colour. Philosophical Magazine 41, 107–120, 274–279
[9] Wehner, R. (1997) The ant's celestial compass system: spectral and polarization channels. In: Orientation and communication in Arthropods; ed. Lehrer, M.; pp. 145-185, Basel: Birkhäuser Verlag