

Gondolatok egy csillagnéző túra kapcsán

– Kolláth Zoltán –

A hazai világítástechnikai, természetvédő és csillagász szakma nemzetközileg is elismert közös eredménye a csillagoségbolt-parkok létrehozása volt Magyarországon. A Zselici Tájvédelmi Körzet 2009-ben Európában elsőként érte el ezt a címet, a Hortobágyi Nemzeti Park pedig hazánk második ilyen védett területe lett 2011-ben. Világszerte jelenleg hivatalosan 10 ilyen park létezik, ebből kettő hazánkban! A Zselic és a Hortobágy esetében is fontos szerepet játszik a fővárostól mért viszonylag nagy távolság és a közelükben lévő városokból származó fényszennyezés még éppen elfogadható mértéke. De mi történne, ha a környező városok jelenleg még döntően nátriumlámpás kültéri világítását teljes egészében fehér LED-es berendezésekre cserélnék? Az, hogy mennyire változna meg a parkok értéke az odalátogatók szempontjából, érdemes egy éjszakai túra tanulságait is figyelembe venni.

A csillagoségbolt-parkok a természeti környezet és az éjszakai tájkép megőrzésén kívül azért is fontosak, hogy hosszabb távon is bemutatathatók legyenek az égbolt szabad szemmel látható csodái. Ezért is szervezünk esti csillagnéző túrákat a nagyközönség számára. Minden év első ilyen rendezvényének a kitüntetett égi célpontja az állatövi fény. A fényszennyezés miatt csak kevesen ismerik ezt a jelenséget, ami nem más, mint a bolygóközi porról visszaverődő napfény okozta halvány derengés az égbolton. Az állatövi fény fényssűrűsége pár ezred cd/m^2 , azaz egyértelműen a szkotopos, éjszakai látás tartományába esik. A szervezett éjszakai túrák kiváló alkalmat teremtenek arra, hogy a résztvevők elméletben és gyakorlatban is megismerkedjenek a szem éjszakai működésével. A legutóbbi alkalommal a gyakorlati vizsga mindenkinek jól sikerült: a több mint 70 résztvevő gond nélkül teljesítette a bő 6 kilométeres távot minden világítás nélkül, egy holdmentes éjszakán az erdei földutakon...

1. Az állatövi fény láthatósága

Az állatövi fény bemutatása ez alkalommal is sikerült. Szerencsésen a nyugati horizonton csak a távoli települések kisebb fénykupolái látszódtak. Az égboltról készült fényképen (1. ábra) ezek a fények jól elkülönülnek narancssárgás színükkel a fehéres állatövi fénytől. Az emberi szem persze más képpen érzékeli ezt a látványt, csak néhány fényesebb csillag és a bolygók színe érzékelhető. A szkotopos látás ráadásul jótékony hatással van az állatövi fény megfigyelésére, a települések fénykupolája csak minimálisan zavart, és mindenki könnyedén észlelte a jelenséget. Ebben az évben a Vénusz, és kisebb mértékben a Jupiter jelentett zavaró fényt – a bolygók együttállása éppen az állatövi fény közepén zajlott...



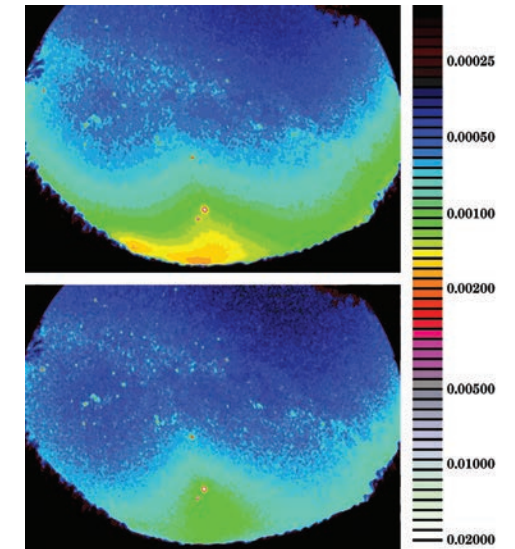
1. ábra: Az állatövi fény és a Tejút a Zselicből. Halszemoptikával készült felvétel. A két fényes égitest az állatövi fény közepén a Vénusz és a Jupiter. A kép kontrasztját a jelenségek láthatóságának megfelelően javítottuk.

A fönti fénykép egy olyan tükörreflexes digitális kamerával készült, amelynek a „nyers” képei viszonylag széles dinamikatartományban jó linearitással rögzítik az

Gondolatok egy csillagnéző túra kapcsán

érzékelőt ért fényt. Megfelelő kalibrálással jó becslést adhatunk az égbolt fényssűrűség-eloszlásáról – ezt a módszert használtuk a csillagoségbolt-park felterjesztésekhez szükséges égboltminőség felmérésekhez is [1,2,3]. A képelemek színi információi lehetőséget adnak arra is, hogy a szimuláljuk a kép szkotopos látásnak megfelelő fényssűrűség-arányait. Ez a becslés szépen igazolja azt a terepi tapasztalatot, hogy a települések fényszennyezése elhanyagolható volt a természetes fényléshez képest. A 2. ábrán a fényképfelvétel alapján készült fényssűrűség-eloszlást mutatja szemünk fotopos és szkotopos érzékenysége alapján is. Az éjszakai látásnak megfelelő esetben szépen kirajzolódik az állatövi fénynek megfelelő háromszög. Meg kell jegyeznünk, hogy az előforduló fényssűrűség-szintek alapján a normál, fotopos látásnak megfelelő fényssűrűség-eloszlás nem is mérvadó a csillagoségbolt-parkok égboltjának minőségvizsgálatánál, amennyiben a vizuális megfigyelések lehetőségeire vagyunk kíváncsiak. A szkotopos mennyiségek jelentik a mérvadó kritériumot. A megfigyelt jelentős eltérés oka a jelenleg domináns fényforrásokban keresendő. Ha repülővel éjjel átutazunk Európa vagy a Föld más része felett, akkor döntően narancsos fénylést figyelhetünk meg. Nem véletlenül, hiszen jelenleg a mesterségesen kisugárzott fény jelentős részét nátriumlámpák adják. Igazából véletlen egybeesés, hogy a nátriumlámpák spektruma szerencsésnek bizonyult mind a természeti környezet, mind a csillagászat szempontjából (az utóbbi esetben különösen a kisnyomású nátriumlámpák szerepeltek jól, hiszen keskeny színképi sávjuk könnyen kiszűrhető). Az állatövi fény spektrális összetétele lényegében a Napénak felel meg, azaz fehér fénynek tekinthető. Esetében hasonló fényssűrűséget kapunk a szkotopos és fotopos láthatósági függvények használatával. A nátriumlámpák fénye ezzel szemben a spektrum

narancsos tartományában dominál, ennek megfelelően a szkotopos mennyiségek a fotopos megfelelőik negyedére-ötödére esnek vissza. Ennek megfelelően már nem meglepő az, amit az éjszaka készült fénykép elemzésénél tapasztaltunk.



2. ábra: Az 1. ábra eredeti képi adatai alapján készült fényssűrűség eloszlás a fotopos (fent) és szkotopos (lent) láthatósági függvényekkel számolva. A színskála értékei cd/m^2 -ben értendők.

A fönti gondolatmenetet megfordíthatjuk. Ha a nátriumlámpák helyett fehér fényű, de azonos világítási geometriával és fényáram-értékekkel jellemezhető világítást telepítenek, akkor a szabad szemmel megfigyelhető látvány határozottan romlani fog, hiszen a települések fénykupolája az állatövi fényvel összemérhetővé válik. A fényforrások spektruma ráadásul nem csak az éjszakai égbolt látványára van hatással. Varró Mihály János és Udvardy Orsolya írása [4] ebben a kötetben bemutatja, milyen problémát okozhat a kékben domináns fény egészségünkre. Ezen kívül érdekes lehet a rovarok, madarak és például a denevérek látását is megvizsgálni ebből a szempontból.

2. Egy kis számolás

Hogyan számszerűsíthető a fényforrások spektrumának élővilágra gyakorolt hatása? Viszonylag egyszerűen megtehető, ha ismerjük egy faj vagy az ember esetében a látásra és egyéb biológiai folyamatokra vonatkozó spektrális érzékenységet. Ezt figyelembe véve tudjuk összehasonlítani a különböző fényforrások hatását. Abszolút mérőszám sok esetben nem létezik, ezért célszerű egy rögzített fényforráshoz hasonlítani a többi lehetőséget. A fentiekben láttuk, hogy a nátriumlámpák sok szempontból kedvezőek, ennek megfelelően célszerű ezt a fényforrást etalonnak választani.

A világítás célja szempontjából természetesen az emberi szemhez kell alkalmazkodnunk, így az összehasonlítást úgy kell megválasztani, hogy a számunkra érzékelhető megvilágítás azonos legyen – itt a fotopos mennyiségekkel dolgozunk, bizonyos esetekben a mezopos körülményeket is figyelembe vehetnénk, de ez valószínűleg nem okoz lényegi eltérést. Egyszerűség szempontjából ezt úgy valósíthatjuk meg, hogy a lefelé irányuló fényáram az összehasonlításban szereplő összes esetben azonos legyen. Az etalon világítás esetében megköveteljük azt is, hogy az teljesen ernyőzött legyen, azaz a felső térfélbe jutó fényáram elhanyagolható. Ezután nincs más tennünk, mint a különböző fényforrásokkal a fentiek figyelembevételével meghatározzuk, hogy milyen mértékű lesz a hatás, majd ezt a mennyiséget normalizáljuk a nátriumlámpa esetén kapott értékkel.

Az égbolt emberi szem számára látható kifényesedéséhez figyelembe kell venni azt is, hogy miként alakul ki a fényszennyezés, hogyan terjed a fény a levegőben. Az éjszakai tájkép, az emberek szeme elé kerülő látvány szempontjából a csillagoségbolt-parkokban a az égbolt szkotopos fénysűrűsége mérvadó, tehát az égbolt mesterséges fénylését is ennek megfelelően kell kezelni. A fényszennyezés mértékében ennek megfelelő-

en két jelenséget kell figyelembe venni. Az eltérő színspektrumú fényforrások esetében a szkotopos és a fotopos láthatósági függvényekkel számolt integrálok aránya más és más, mint a fenti egyszerű példában is láttuk. A sok kéket tartalmazó fény jobban zavarja az éjszakai látást, mint a vörös vagy akár a sárga. Ezenfelül a légkör viselkedése is más a hullámhossz függvényében. Az égbolt azért kék, mert a rövidebb hullámhosszú fénysugarak jobban szóródnak (a Rayleigh-törvénynek megfelelően a hullámhossz negyedik hatványával fordított arányban). A Nap fehér fényéből a kék színtartományban lévő fotonok nagyobb arányban változtatnak útírányt, azaz szóródnak, mint a vörös tartományban lévők. A vörös fény hosszabb utat tud megtenni a levegőben, ezért látjuk a felkelő vagy a lenyugvó napot vörös színűnek. Ugyanez igaz a városokból elszabadult fényre is.

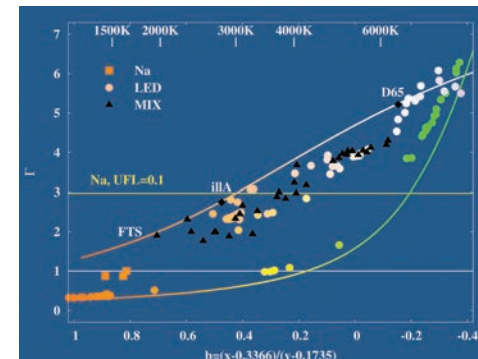
A pontos eredményhez átlagos légköri körülmények mellett, a légköri fényterjedést modellezve számoltuk az égbolt átlagos fénysűrűségét a 45 foknál magasabban lévő égterületen. A számítást 380 nm és 780 nm között 5 nm-es lépésben minden hullámhosszra megismételtük. A város és a vizsgált terület távolságát 20 km-nek választottuk – nem véletlenül, ez felel meg a Zselici Tájvédelmi körzet legsötétebb részei és Kaposvár távolságának. A város fénykibocsátására két különböző világítási modellt használtunk. Az optimális esetben a lámpatestekből nem távozik fény közvetlenül az égbolt irányába. Ebben az esetben a várost elhagyó fényt Lambert-reflexióval modelleztünk, 10 %-os fényvisszaverési aránnyal. A második esetben átlagosan a teljes fényáram 10 %-a közvetlenül a felső térfélbe távozik (a továbbiakban ezt a mennyiséget UFR-el jelöljük az angol „upper flux ratio” rövidítéseként, jelen esetben UFR=0,1). A távozó fény ezen komponensét egy olyan térbeli eloszlással jellemeztük, amely a zenittávolság negyedik hatványával arányos (Garstang-modell [5]), azaz közvetlenül a horizont feletti területre kon-

centrált.) Ebben az esetben is a nátriumlámpa az etalon, mégpedig az optimális esetben (UFR=0). Minden esetben adódik a légkör spektrális átviteli függvénye ($T(\lambda, UFR)$), ami megadja, hogy a különböző hullámhosszú fénysugarak milyen arányban szerepelnek az égbolt kifényesedésében.

A megvilágítás helyén az $S(\lambda)$ spektrális eloszlású fényforrás esetén a fotopos mennyiségek az $\int V(\lambda)S(\lambda)d\lambda$ integrállal arányosak. Az égbolt szkotopos fénysűrűsége pedig a légkör spektrális átteresztő képességét is figyelembe véve a $\int V'(\lambda)S(\lambda)T(\lambda, UFR)d\lambda$ mennyiséggel arányos. Mivel a fényszennyező hatást egy etalon fényforráshoz (nátriumlámpa) hasonlítjuk, az arányossági tényezők konkrét értékre nincs szükség, és hasonlóan az $S(\lambda)$ függvények normalizálásától is független az eredmény. A számunkra érdekes mennyiség az alábbi:

$$\Gamma = \frac{\int V'(\lambda)S(\lambda)T(\lambda, UFR)d\lambda}{\int V(\lambda)S(\lambda)d\lambda} / \frac{\int V'(\lambda)S_{Na}(\lambda)T(\lambda, UFR)d\lambda}{\int V(\lambda)S_{Na}(\lambda)d\lambda}$$

A spektrumok, a légköri fényterjedést modellezéséből származó átviteli függvény és a láthatósági függvények ismeretében Γ egyszerű összegzésekkel meghatározható.



3. ábra: Az égbolt kifényesedési arány (Γ) a fényforrások színe és típusa szerint. A használt jelölések: FTS: feketetest sugárzás, MIX: a LED kivételével egyéb fényforrások. Az alsó színes görbe a monokromatikus színeknek megfelelő értékeket jelzi.

A 3. ábrán ezt a mennyiséget ábrázoltuk egy olyan mennyiség (b) függvényében amely-

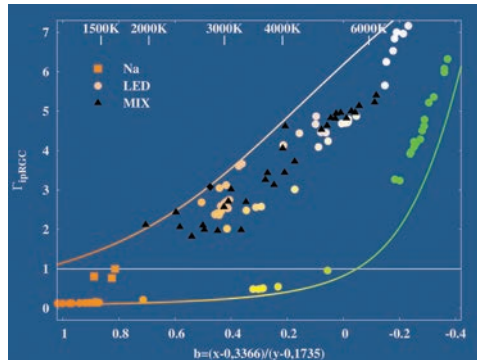
közeliően számolható a korrelált színhőmérséklet. McCamy valamint Lee és szerzőtársai [6,7,8] adtak meg közelítő számolási módszert, ennek megfelelően választottuk meg az ábrák független koordinátáit. A fényforrásnak a CIE-xy színességi diagramon elfoglalt helyzete alapján ez a mennyiség egyszerűen számolható: $b=(x-0,3366)/(y-0,1735)$. Hasonló ábrákon gyakran ábrázolnak a korrelált színhőmérséklet függvényében, de olyan fényforrásokat is vizsgálunk, amelyeknél ez már nem vezetne értelmes eredményre. Tájékoztatásul az ábra tetején feltüntetettük az b-hez kapcsolódó közelítő színhőmérsékleteket is.

Az eredmény igazolja azt, amit az állatövi fény megfigyelésének értelmezésénél tapasztaltunk: jelentős fényszennyezés-növekedést jelenthet a fehér fényre való eltérés.

Figyeljük meg, hogy milyen nagy eltérések vannak a fehér LED-ek színhőmérséklete szerint! Ahol az éjszakai égbolt láthatósága még megőrizhető, mindenképpen a meleg-fehér színű fényforrások használata indokolt. Ha a nem megfelelő színhőmérsékletű világítás még a horizont síkja fölé irányuló világítással is társul (UFR>0), a jól megvalósított nátriumlámpás világításhoz képest egy nagyságrenddel is kifényesedhet az égi háttér...

Humán-egészségügyi szempontból kötetünk másik cikkére hivatkozunk (Varró és Udvarý). Sajnos egyértelműen még nem ismert, hogy a hormonháztartás szempontjából mi a szemet erő kritikus megvilágítás, de az viszonylag egyszerűen számolható, hogy az eltérő színű, spektrumú fények potenciálisan mennyire károsak. Némi bizonytalanságot jelent, hogy a fényérzékeny retinális ganglionsejtek érzékenységi görbéje ($ipRGC(\lambda)$) még nem ismert pontosan, de az jó közelítéssel hasonlít a szkotopos látás érzékenységi görbéjéhez; maximuma a kékebb tartományba esik, 505 nm helyett ~480 nm-re. Ez az eltérés azt sugallja, hogy a kékben domináns fehér fényforrások hatása még inkább jelentős a nátriumlámpáéhoz

képeket, amint azt az éjszakai látásnál tapasztaltuk. A számolás ez esetben még egyszerűbb, hiszen itt a légköri fényterjedéssel nem kell foglalkoznunk. Az eredményt a 4. ábrán mutatjuk be.



4. ábra: A melatoninintermelés elnyomási aránya (Γ_{ipRGC}) a fényforrások színe és típusa szerint. A 3. ábrának megfelelő jelölésekkel.

Egyértelműen látható, hogy a nátriumlámpához képest nagyon sok fényforrás határozottan növeli a melatoninintermelés elfojtásának kockázatát. Talán egyes világítási körülmények között az ablakon beszűrődő fény a spektrumok eltérése miatt éri el azt a szintet, ami már kockázatos lehet. A másik tanulság, hogy otthonainkban hasznos lehet egy olyan LED-es lámpa, ami piros vagy borostyánsárga fényű – amennyiben arra kényszerülünk, hogy az éjszaka közepén közlekedni kell a lakásban, az ilyen fényű lámpa kevésbé zavarja meg a melatoninintermelést, talán könnyebben el alszunk miután visszatértünk az ágyba.

3. Összefoglalás

Nem elégszer hívjuk fel a figyelmet a zavaró fények káros hatására (pl. [9,10]), napjainkban is tapasztaljuk, hogy olyan világítási berendezések jelennek meg a közterületeken, melyek a józan ész diktálta követelményeket sem teljesítik. Sok esetben a távozó fény egyáltalán nem hasznosul, hanem az égbolt irányába tá-

vozik, mint például egy virágágyásba épített fényvető esetében (amire sajnos van megvalósult példa). Itt ráadásul kápráztató hatása is van, s semmi sem indokolja a megoldást. Sajnos a világítástechnikusok, természetvédők és csillagászok sok évtizedes közös erőfeszítése ellenére nem történt lényeges előrelépés, ami megakadályozná a túlzott zavaró fényeket okozó világítótestek telepítését. Talán az építési engedélyezéssel kapcsolatos jogszabályváltozások segíthetnek majd.

A technika fejlődése többször vezetett jelentős előrelépésekhez a világítástechnikában. Sajnos ezek az egyébként pozitív lépések legtöbbször a fényszennyezés növekedéséhez is vezettek. Ez nem volt mindig szükségszerű, például több helyen előfordult, hogy a fényforrások fényhasznosításának javulása ellenére a korábban jól megvilágított területeken nem csökkentették kellő mértékben a beépített elektromos teljesítményt. A fényszennyezés növekedésén kívül ez felesleges energiapazarláshoz is vezetett. Jelenleg egy újabb technikai áttörést figyelhetünk meg a félvezető-technika megjelenésével, ami a LED-es világítás előretörését jelenti. Nagyon sokan csodaszerként tekintenek erre az eszközre, amely egy lépésben energiamegtakarításhoz és a fényszennyezés csökkenéséhez vezet. Talán ez igaz is lehet hosszabb távon, ha itt is a józan észre hallgatunk. Sajnos a jelenlegi állapot még nem érte el a „csoda” szintjét, ha nem megfelelően lépünk, akár katasztrofális lehet egyes helyeken a LED-es világítás meggondolatlan bevezetése. Reméljük, hogy az átmenet után is lesz még értelme éjszakai csillagnéző túrákat hirdetni, és az érdeklődők könnyedén megfigyelhetik majd az állatövi fény vagy éppen a Tejút látványát. Világunk egy része veszne el a felnövekvő generációk számára.

Köszönetet mondok Molnár Károlynak és Kráncz Balázsnak, akik rendelkezésemre bocsátották a 3. és 4. ábrához használt fényforrás-spektrumokat.