

## Látnak-e még csillagot utódaink?

*Kolláth Zoltán*

Száz évvel ezelőtt a címben feltett kérdés értelmét nem igazán értették volna eleink. Pedig akkor már elindult az a folyamat, amely az éjszakai égbolt folytonos kifényesedését eredményezte. De ma is vannak még, akik meglepődnek a kérdés hallatán. Nemrégiben egy kis falu polgármestere, aki egyben a falu boltos nénije is, elcsodálkozott azon, hogy vannak olyan helyek, ahonnan már nem láthatók a csillagok. Számára még természetes, hogy viszonylag zavartalan csillagos égboltban gyönyörködhet – és korán reggel ez segíti abban is, hogy eldöntse, milyen időjárásra számíthat a nap folyamán...

### Zavaró fények és fényszennyezés

A feltett kérdés sokak számára akkor vált igazán aggasztóvá, amikor 1990-ben egy olasz kutatócsoport, *Pierantonio Cinzano* és munkatársai elkészítették Európa fényszennyezési térképét, és a korábbi tendenciákat figyelembe véve jóslatot adtak arra, milyenné válhat az égbolt 2025-re. Az eredmény lesújtó, Európa térképén a legerősebb fényszennyezésre utaló piros szín válhat dominánssá, ami főként a nagyvárosokra volt jellemző az előrejelzés készültekor. Ez azt jelentené, hogy az öreg kontinens lakói többsége számára eltűnik a Tejút látványa, és száz kilométereket kell utazni ahhoz, hogy az égbolt e csodáját megpillantsák. Egyértelművé vált, hogy tenni kell valamit...

De mi is okozza a csillagok eltűnését? A válasz a *fényszennyezés*, mely jelenség egyre ismertebbé válik. Ennél a fogalomnál meg is kell állnunk egy kicsit, mivel használata nem mindig megfelelő. Jogilag egyébként is ellentmondásos az elnevezés, hiszen szennyezésről csak akkor beszélhetünk, ha létezik egy elfogadott küszöbszint, amelyet túllép valamilyen káros anyag mértéke. Egyébként csak fényterhelésről beszélhetünk. A fény káros hatásainak összefoglaló neve helyesen zavaró fény, amelynek a definíciója: Zavaró fény az a fény, amely káprázást, birtokháborítást, az égbolt mesterséges kifényesedését vagy bármi más nemkívánatos környezeti hatást okoz.

Maga a definíció is tartalmaz olyan fogalmakat, amelyeket tisztáznunk kell. Egyedül a káprázás, amit már korábban definiáltak, az MSZ 9620-2 szerint: „A látás kényelmetlensége és/vagy a tárgyak felismerhetőségének csökkenése, a fénysűrűség szokatlan eloszlásának vagy szokatlan értékének, illetve a térben vagy időben fellépő igen erős kontrasztnak a következtében.” Akit vakított már el a szemből jövő autó fényszórója, tudja miről van szó, és milyen veszélyek okozója lehet a káprázás. Birtokháborító az a fény, amely a megvilágításra szánt területet övező ingatlanokra, épületekre esik, és ott káprázást vagy egyéb kellemetlenségeket okoz. Ebben a kategóriában különösen fontos odafigyelni az ablakokon beszűrődő, az éjszakai pihenést zavaró fényekre. Ide tartozik ezen kívül a lámpatestekből közvetlenül a védett természeti területekre eljutó fény is.

### Az éjszakai égbolt fényei

Az éjszakai égbolt mesterséges kifényesedése a felhők megvilágításából, illetve a levegő molekuláin és aeroszoljain szóródó mesterséges világitástól eredő fényből származik. Fényszennyezés alatt igazából csak az utóbbi jelenséget értjük, és a kifejezés ha nem is tökéletes jogi szempontból, használható erre a fogalomra. A jelenségkör ezen kettős definíciója (fényszennyezés – zavaró fény) még nem zárult le teljesen, de a mérvadó testületek és szervezetek (pl. a Nemzetközi Sötét Égbolt Szövetség) már ezeket a meghatározásokat használja. Előfordul még, hogy fényszennyezés alatt – a szennyezés jogi értelmezése szerint – azt a fénymennyiséget értik, amelynek humán egészségügyi kockázati vagy az élővilágot veszélyeztető hatása van. Ez utóbbi definíció azonban csak nagyon nehezen számszerűsíthető, míg az éjszakai égbolt fénylésére jó mérőszám annak fénysűrűsége.

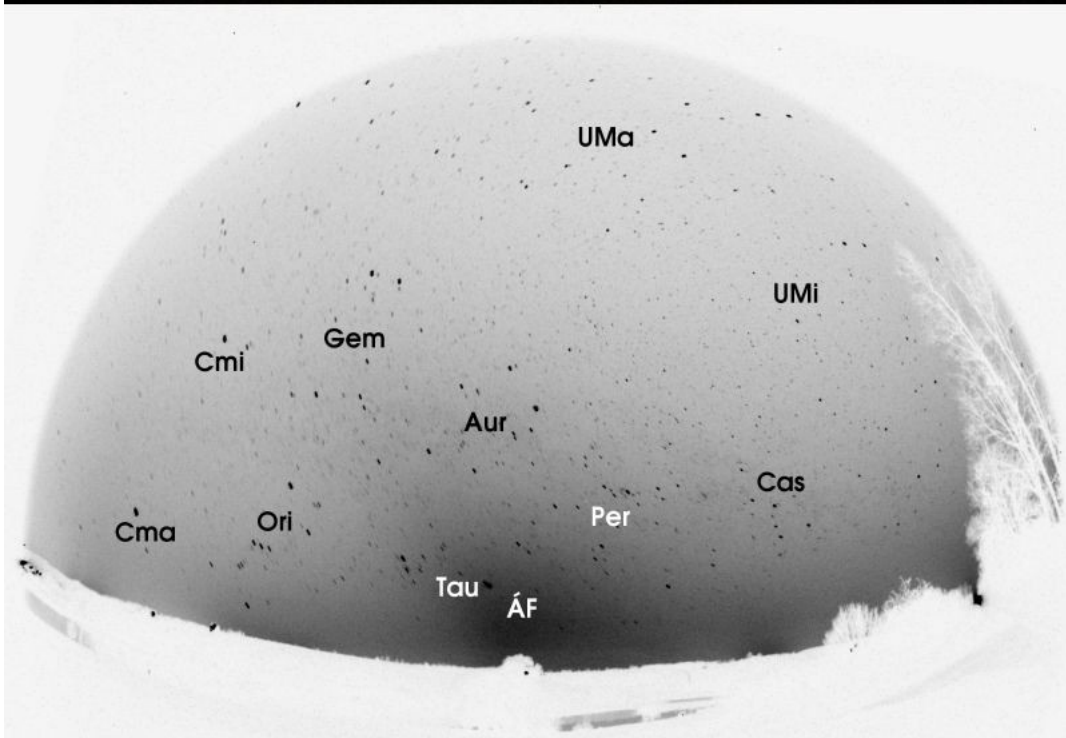
A zavaró fényeket azok létrejötté szerint egy kicsit másként is megmagyarázhatjuk: zavaró fénynek

tekintjük a megvilágítás azon részét, amely nem a megvilágítandó felületre, irányba és nem a megfelelő időszakban jut. De zavaró fényt jelent a szükséges szintnél lényegesen nagyobb megvilágítás is. Általánosan elmondhatjuk, hogy a horizont síkja fölötti irányban elszökő fény zavarónak tekinthető.

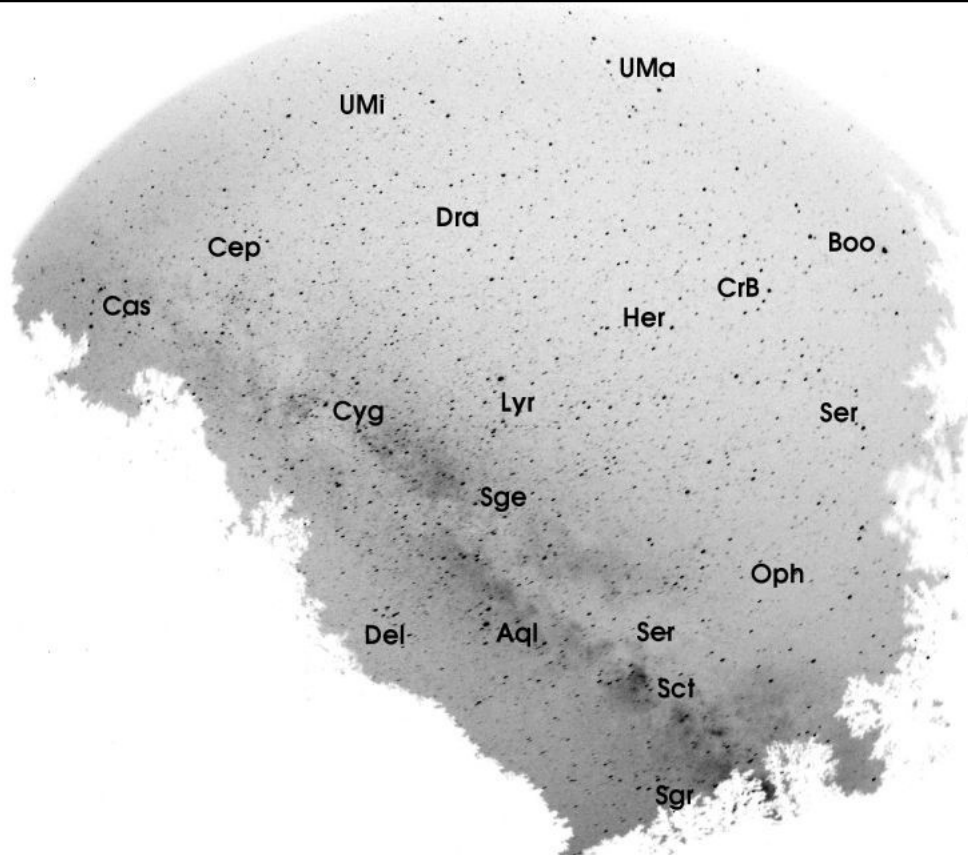
### **Mennyire sötét a sötét?**

A csillagok eltűnéséért az égbolt mesterséges fénylése a felelős. Érdeemes részleteznünk ezt a jelenséget. Az emberi szem az egyes tárgyak, felületek eltérő fényességét azok *fénysűrűsége* alapján érzékeli. Ennek megfelelően az égbolt fénylését is fénysűrűségben mérjük. Az egyszerűség miatt egységnyiinek választhatjuk az égbolt átlagos természetes fénysűrűségét, amit nevezhetünk „sötét égnek” (SÉ). Persze ennél lényegesen kisebb fénysűrűséget is érzékel az emberi szem, a majdnem koromsötét 0,004 SÉ-nek felel meg. A még éppen kényelmesen megfigyelhető telihold fénysűrűsége 20 millió SÉ nagyságrendű. Persze ha precíznek szeretnénk lenni, akkor a fénysűrűség SI egységét, a candela/m<sup>2</sup>-t kellene használnunk. (1 cd/m<sup>2</sup> hozzávetőlegesen 4000 SÉ-nek felel meg.) Az égbolt természetes derengése a láthatónál halványabb csillagok összességéből, a bolygóközi és csillagközi porról visszaverődő nap- és csillagfényből, valamint a felsőlégkör naptevékenységtől függő saját fényléséből tevődik össze. Azokon a helyeken, ahol az emberi világítás érzékelhető, a természetes háttérfényességhez hozzáadódik a mesterséges komponens is. Sajnos a civilizált világban ez utóbbi vált dominánssá.

Hogy mennyire sötétnek érzékeljük az éjszakai égboltot, eléggé relatív. Először is a fényből szabadulva fél órát kell várnunk ahhoz, hogy szemünk megközelítse a teljes érzékenységet. A Zselici Tájvédelmi Körzetben rendszeresen szervezünk csillagnéző túrákat (**1–2. ábra**). Általában a szürkületben indulva gyalogolunk át az éjszakába, s kifejezetten kérve a résztvevőket, hogy ne használjanak zseblámpát (nem beszélve a fényképezőgépek vakujáról, ami egy század másodperc alatt hosszú percekre elvakíthat). Sokak számára meglepő, hogy biztonsággal sétálhatunk lámpa nélkül is Magyarország legsötétebb erdejében... A következő meglepetést az okozza, hogy a jól előkészített szem számára milyen fényes minden, amikor egy tisztásra jutunk. Még a sötét ég is meglehetősen világít. Később a civilizációba visszatérve, egy-két távoli lámpa elegendő ahhoz, hogy teljesen sötétnek érezzük az eget. Egy nagyon tiszta éjszakán a csapat könnyedén észlelte az ég felvillanásait, amit távoli zivatar okozott. Mint utólag kiderült, majdnem 200 km-re villámlott!



1. ábra A Zselicben készült felvételen egyszerre figyelhető meg az égbolt fényléséért felelős több komponens is. A felvétel negatív változatát is mutatjuk a könnyebb tájékozódás kedvéért. A horizonttal közel párhuzamosan (Aur-Per-Cas) húzódó derengő sáv a Tejút. Ennél fényesebb az az eldőlt háromszög, amely egészen a Tejútig ér. Ez az állatövi fény (ÁF), azaz a bolygók síkjában keringő porról visszaverődő napfény. Nevét is innen kapta, hiszen a bolygók pályáját az éggömbre vetítve az állatövi csillagképeket kapjuk – a felvételen az a jelenség a Bika (Tau) és az Ikrék (Gem) csillagképek mentén látható. A Zselici Tájvédelmi Körzetben könnyedén megfigyelhető ez a jelenség, ha a tavaszi estéken a szürkület végén nyugati, vagy ősszel napkelte előtt keleti irányba fordulunk. Ennek ellenére nagyon kevesen ismerik az állatövi fényt, még a hivatásos és az amatőr csillagászok többsége is úgy nyilatkozik, hogy nem volt még alkalmuk megpillantani azt.



2. ábra Bemutatjuk a nyári égboltra jellemző Tejutat is, amely sokkal fényesebb és így látványosabb, mint a Galaxisunk előző ábrán látszó, télen megfigyelhető része. A felvétel alsó részén, a fák között látszó fényes derengés nem fényszennyezés eredménye, hanem a Tejút Nyilas

(Sgr) és Skorprió közötti része. A felvétel felső részén az égbolt fénysűrűsége mindössze 20 százalékkal haladja meg a természetes értéket (1,2 SÉ). A Tejút legragyogóbb részei képünkön körülbelül 4 SÉ értékkel világítanak, de a horizont közelében ebből a fényszennyezés aránya is nagyobb, értéke hozzávetőlegesen 1 SÉ.

### **Egy ismerős jelenség: a napfény útja a légkörön át**

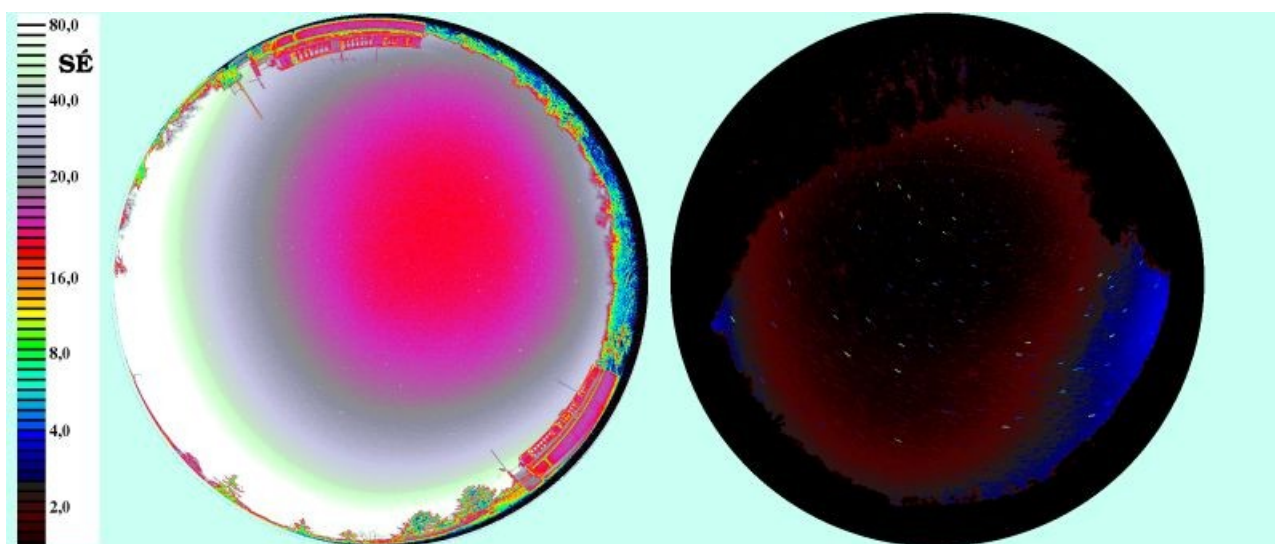
A fény részecskéi, a fotonok haladását a levegő molekulái és a szennyező aeroszolok akadályozhatják. Látható tartományban elsősorban a fény szóródása jellemző, azaz a légkör nem nyeli el a fénysugarakat, hanem csak irányváltóztatásra kényszeríti azokat. Az infravörös tartományban ellenben már a fény elnyelése válik dominánssá. A fényszennyezés szempontjából ennek megfelelően a fényszórással kell csak foglalkoznunk. Ha tiszta időben az égboltra nézünk, a jelenség szembeütő: a Naptól távol sötét lenne az égbolt, ha nem szóródnának a fénysugarak a molekulákon. Tiszta levegőben a molekulákra jellemző fényszórási jelenség a domináns, ami erősen függ a fény hullámhosszától (annak negyedik hatványa szerint). A kék fény sokkal jobban szóródik, mint a vörös. A légkörben szórt fény spektrális eloszlását kombinálva a szem érzékenységi görbéjével tényleg megkapjuk az égbolt jellemző kék színét. A jelenség pontosan fordítva jelenik meg a Nap esetében: a lenyugvó vagy kelő központi csillagunk 6000 K-es igazi színhőmérséklete ellenére vörös színűnek látszik, és a fénye is töredékére csökken.

A napkorong tényleges színe és fényessége erősen függ a légkör páratartalmától és szennyezettségétől. Speciális összetételű szennyeződések esetén különleges látványban lehet részünk. A meteorológiai zsargonban „száraz légköri homálynak” hívják azt a jelenséget, amikor a levegő páratartalma nem magas ugyan, de sok por jellegű szennyeződés gyűlik össze az alsó légrétegekben. Igen speciális eset az időnként hozzánk is nagy mennyiségben érkező sivatagi homok – ilyenkor a kelő és nyugvó Nap meglepően fehéres, sárgás színű lehet. Nem véletlen, hiszen nagyobb részecskék, szemcsék, összefoglalóan az aeroszolok esetében egy másik mechanizmust kell figyelembe venni, amely sokkal kevésbé függ a fénysugarak színétől, mint a molekuláris szórás, sőt nagyobb szemcsék (pl. homok) esetében éppen olyan hullámhosszfüggést mutat, amely kompenzálja a lemenő nap egyébként vörös színét.

Átlagos körülmények között a fotonok körülbelül 10–50 km-t utaznak a levegőben, míg egyszer szóródnak egy részecskén. Ennek megfelelően a zenit irányából érkező fénysugarak csak részben, negyed-harmad arányban térülnek el eredeti irányukból, a fotonok többsége a földfelszínre érkezik. Minél inkább a horizont közelében látjuk a Napot, annál hosszabb utat tesz meg fénye a légkörben, ezért nagyobb arányban találkozik molekulákkal és egyéb részecskékkel. Ha megmérjük a napkorong fénysűrűségét (vagy a Nap teljes fényességét) a horizont feletti magasság függvényében, akkor meghatározhatjuk a szórt fény arányát a zenittávolság függvényében. A horizont irányában a napsugárzás legalább 99,995%-a szóródik, a hozzánk jutó maradék mindössze néhány század része a delelő Napénak! Öt fokkal a horizont fölött a fény több mint 95%-a szóródik, míg átjut a légkörön. Az eddigiek egyik érdekes következménye az égbolt fényességeloszlása magasan lévő Nap esetén. Meglepő, de a horizont környékén a fénysűrűség kb. ötször nagyobb mint a zenitben. Belegondolva persze logikus a dolog. A zenit irányában jobban átlátunk a levegőn, és kevesebb fény szóródik abból az irányból a megfigyelő felé. A horizont fölött 5 fokkal már minden látható hullámhosszon olyan vastag a légkör, hogy azon nem látunk át a világűr irányába, ezért több korábban szóródott foton érkezik, és a szín szerinti eloszlásuk már a Napéhoz hasonló. Ebből következik, hogy az égbolt a horizont közelében a legfényesebb, és tiszta időben is fehéres. A pontos színe függ attól is, hogy milyen a talaj vagy a növénytakaró színe, hiszen az azokról reflektálódó fény is nagy valószínűséggel szóródik az irányunkba.

### **Megszökött mesterséges fények: vissza a feladónak**

Mivel a fényterjedés sajátosságai függetlenek a terjedési iránytól, az eddigiek alkalmazhatók a földi fényforrásokból távozó fénysugarakra is. Egyszerűen megmondhatjuk, mi történik a légkör „alján” lévő gömbszimmetrikus sugárzóból távozó fénysugarakkal. Derült időben a közel felfelé induló fotonok kétharmada-háromnegyede a légkörön zavartalanul áthaladva a világűr felé távozik. A fennmaradó kb. 30%-nyi foton többsége egyszer szóródik, ami után irányt változtatva egyik fele tovább folytatja útját a Kozmoszba, a maradék pedig visszaszóródik a földfelszín irányába. Durva közelítéssel, a felfelé távozó fény 15 %-a jut vissza a bioszférába. A lámpatestet meredeken lefelé elhagyó fotonok többsége a talajszinten elnyelődik, majd az úttest vagy a növénytakaró fényvisszaverő képességének függvényében egy részük visszaverődik. A meredeken felfelé reflektált sugarakkal ugyanaz történik, mint a teljesen felfelé távozó fotonokkal. 10%-os reflexivitást feltételezve, a visszavert fény 1-2 százaléka járul hozzá az égbolt kifényesedéséhez. A „laposabban” visszaverődő sugarak általában ismét ütköznek az épületekkel, növényzettel és tereptárgyakkal, csak kis részük távozik a horizonttal kis szöget bezárva. A fényszennyezés szempontjából legnagyobb kárt a horizont irányába távozó fény okozza. Ezek a sugarak szinte teljes egészében szóródnak a levegőben, és a többszörös szórást is figyelembe véve több mint a fotonok fele visszatér a földfelszínre, növelve a fényszennyezést (3. ábra).



3. ábra A mesterséges fények hatására az égbolt jelentősen kifényesedett. Hazánkban a legsötétebb égboltú helyeken, ideális időjárási körülmények mellett is kb. 20%-kal fényesebb az égbolt, mint amilyen természetes állapotában lenne. A nagyvárosokban az égbolt akár több százszorosára fényesedett az emberi tevékenység következtében. A két kép az égbolt fénysűrűség-eloszlását szemlélteti a Budai-hegységéből és a Zselicből. A színskála az értékeket a természetes égbolt fénysűrűségének arányában mutatja (SÉ egységben).

Milyen következményei vannak az égbolt mesterséges fénylésének? Először is, a látható csillagok száma drasztikusan lecsökkent, mivel csak fényesebb csillagokat figyelhetünk meg. A csillagok fényességét *magnitúdó*ban adhatjuk meg. Ez az egység különleges azért is, mert növekvő értékéhez halványabb csillagok tartoznak, de azért is, mert jól alkalmazkodik az érzékelés fiziológiai szabályosságaihoz is. Öt magnitúdónyi különbség 100-szoros fényességarányt jelent. Ideális körülmények között, jó szemű megfigyelők képesek 6,5 magnitúdós, vagy akár egy kicsivel halványabb csillagok megpillantására is. A szabad szemmel látható csillagok többsége 1–5 magnitúdó közötti értékkel jellemezhető, de pl. a Szíriusz fényessége -1.5 magnitúdó. A nyári égbolt egyik legfényesebb csillaga, a Vega közel 0 magnitúdós. Érdekességképpen megjegyezzük, hogy ha a Vega fényét közel 200 teliholdnak megfelelő területre kennénk szét, akkor éppen 1 SÉ-nek megfelelő fénysűrűséget kapnánk. Az égbolt természetes fénysűrűségének megfelelő értékét pedig úgy is meghatározhatjuk, ha egy 5,7 magnitúdós csillag teljes fényét szétkenjük pontosan egy teleholdnyi égrészre. Zavaró fényektől távol, átlagos körülmények között éppen ennyire halvány csillagok jelentik látá-

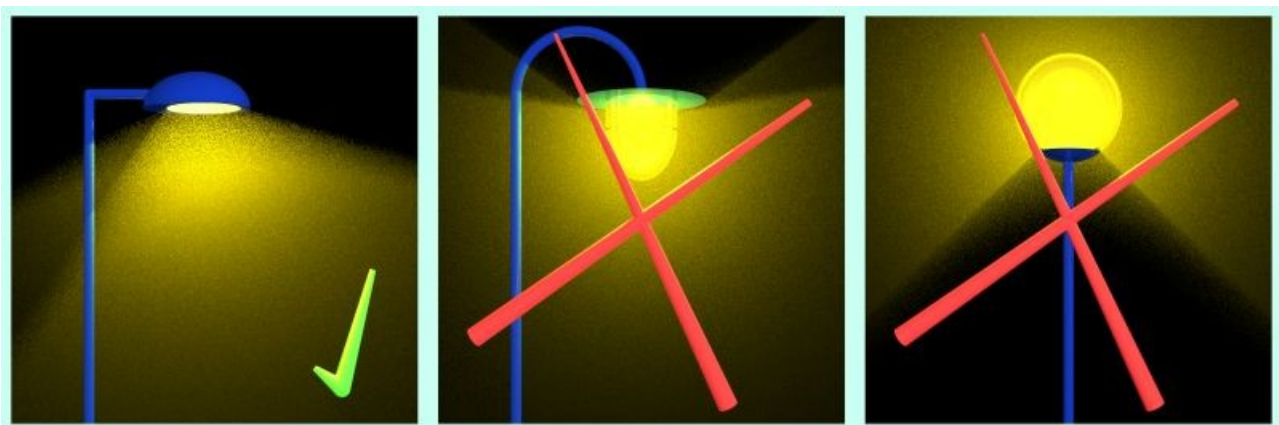
sunk határát. De vajon miért közel egy teleholdnyi felület háttérfényességével áll szemben egy még éppen látható csillag fénye?

### A szem „éjjeli műszakban”

A nappali és éjszakai látás között jelentős különbségek vannak. Míg nappal a színekre is érzékeny csapocskákkal látunk, kisebb fénysűrűségek mellett másfajta idegsejtek, a pálcikák veszik át helyüket. Mindenki számára ismerős, hogy szürkület után elveszítjük színlátásunkat. Sötétebb körülmények között az emberi látásélesség is lényegesen lecsökken. Míg nappal a szem felismeri a szögperc nagyságrendű részleteket, gyenge fényviszonyok mellett ennél 10-20-szor gyengébb felbontóképességgel kell beérnünk. Ezzel együtt a kontrasztfelismerő képességünk is csökken. Sötét erdőben járva ez okozza azt, hogy bizonytalanabbá válunk, mivel a tereptárgyak, ágak kevésbé válnak el a környezetüktől. Hiába pontszerűek a csillagok, a szembe érkező csillagfény egy legalább 100 négyzet-szögperc (10 szögperc  $\times$  10 szögperc) nagyságú égi területről beérkező fényvel verseng az észlelésnek megfelelő agyi impulzusért. A természetes égi háttérből is annyi fény érkezik egy ekkora égi területről, mint egy 7,8 magnitúdó fényű csillagból. Ahhoz hogy a kontraszt elegendő legyen, ennél fényesebbnek kell lennie a csillagnak, hogy megpillanthassuk. Így ideális viszonyok és nagyon jó látás mellett is legfeljebb 7 magnitúdós körül van a látható csillagok fényessége. Ha az éjszakai látásélességünk megegyezne a nappalival, lényegesen halványabb csillagokat láthatnánk... Azonban be kell értnünk a valósággal, s ráadásul az égbolt mesterséges fénylése miatt a határmagnitúdó csökken. Első közelítésben amennyivel fényesebbé válik az égbolt, annál fényesebb csillagokat láthatunk csak meg. A városi százszoros növekmény éppen 5 magnitúdónyi veszteséget jelent a határmagnitúdóban, azaz jó esetben is csak a legfényesebb, 0–2 magnitúdós csillagokat figyelhetjük meg távcső nélkül.

### Hogyan őrizhetjük meg a Tejút látványát?

Mit tehetünk azért, hogy ne veszítsük el a csillagos égboltot, és a dédunokáink is gyönyörködhessenek a Tejútban és az állatövi fényben? Mindenekelőtt jól és csak a kellő arányban szabad világítanunk. Arra kell törekedni, hogy a horizonthoz közeli irányokba világítsunk, az égbolt felé pedig lehetőleg csak az elkerülhetetlen fény mennyiség távozzon (**4. ábra**).



4. ábra „A jó a rossz és a csúf” – legalábbis fényszennyezés szempontjából. Míg a bal oldali lámpatestből csak a megvilágítandó felületre érkezik a fény, a másik két esetben az égboltot is jelentősen megvilágítjuk. Ha csak jól megvalósított és jól elhelyezett lámpatesteket használnánk kültéri világításhoz, akkor az égbolt mesterséges fénylése jelentősen csökkenne, ráadásul rengeteg energiát is megtakarítanánk...

Hogy felhívjuk a figyelmet a fényszennyezésre, és megőrizzünk az országban olyan szigeteket, ahol hosszabb távon is garantált a Tejút látványa, egy csillagoségbolt-park programot kezdeményeztünk. Elsőként a Zselici Tájvédelmi Körzetben indult az akció, a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatósága és a Magyar Csillagászati Egyesület összefogásával. A kezdeményezőkhöz később csatlakozott a MEE Világítástechnikai Társaság, a Zselica Szövetség és a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt. A széleskörű együttműködés nem véletlen, hiszen csak így, minden oldalról jó szándékkal és hozzáértéssel őrizhető meg az égbolt szépsége. A második csillagoségbolt-park a Hortobágyi Nemzeti Parkban jöhet majd létre. Mindkét helyen részben már lezárult az égbolt minőségének vizsgálata, melynek eredménye igazolta az előzetes várakozást, amely szerint tényleg kiváló csillagnéző helyeket találunk e védett természeti területeken. A figyelem felhívásának ez a módja már meg is hozta az első eredményét, mivel 2008 decemberétől a védett természeti területeket már törvény is védi a zavaró fénytől. Bízunk abban, hogy sikerül utódainknak is átörökíteni a csillagos égbolt szépségeit, a Tejút látványát.