

**Csillagos ég rezervátum a Hortobágyi Nemzeti Parkban és a  
fényszennyezés ökológiai hatásai**

**Czakó Csaba**

**Debrecen  
2011**

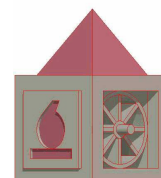
# Szakedolgozat kiírás



DEBRECENI EGYETEM  
MŰSZAKI KAR

**KÖRNYEZET- ÉS VEGYÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK**

UNIVERSITY OF DEBRECEN  
FACULTY OF ENGINEERING



HALLGATÓ NEVE: Czakó Csaba

SZAKDOLGOZAT CÍME: Csillagos ég rezervátum a Hortobágyi Nemzeti Parkban és a fényszennyezés ökológiai hatásai

KÜLSŐ KONZULENS: Gyarmathy István igazgató-helyettes  
Hortobágyi Nemzeti Park, 4024 Debrecen, Sumen u. 2.

BELSŐ KONZULENS: Dr. Godó Zoltán Attila adjunktus

A MEGOLDANDÓ RÉSZFELADATOK:

1. A fényszennyezés irodalmának áttekintése
2. Közös területbejárás, világítási leltár pontosítása
3. Részvétel a fényszennyezés monitoringban
4. A fényszennyezés ökológiai hatásai
5. A felmerülő problémák megoldási lehetőségei

# Tartalomjegyzék

<b>1. BEVEZETÉS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>7</b>
2. 1. A FÉNYSZENNYEZÉS DEFINÍCIÓJA.....	7
2. 2. A FÉNYSZENNYEZÉS HATÁSÁIRÓL ÖSSZEFOGLALÓAN.....	8
2. 2. 1. A csillagok láthatóságának csökkenése.....	8
2. 2. 2. A tájkép sérülése.....	8
2. 2. 3. Emberekre gyakorolt közvetlen hatás.....	8
2. 2. 4. Energiapazarlás.....	8
2. 2. 5. A cirkadiális és cirkannuális ritmus felborítása.....	9
2. 2. 6. Csapdhatás és taszítóhatás.....	9
2. 2. 7. Diszorientáció.....	9
2. 2. 8. Kommunikáció zavarása.....	9
2. 3. A FÉNYSZENNYEZÉS TÖRTÉNELME.....	10
2. 3. 1. Az ökológiai oldal az ókortól napjainkig.....	10
2. 3. 2. Az asztronómiai fényszennyezés feltérképezése.....	10
2. 4. A LÉGKÖRI FÉNYLÉS OKA.....	13
2. 5. A FÉNYSZENNYEZÉS MÉRÉSI ESZKÖZEI.....	14
2. 5. 1. Az égbolt szabad szemes mérése.....	14
2. 5. 2. Mérés WASBAM-SSH műszerrel.....	16
2. 5. 3. Mérés IL1700 műszerrel.....	16
2. 5. 4. Mérés Minolta LS-100 fénysűrűségmérővel.....	16
2. 5. 5. Mérés fénysűrűség alapján Unihedron műszerrel.....	16
2. 5. 6. Mérés DSLR fényképezőgéppel.....	17
2. 5. 7. Hiperspektrális távmérés.....	18
2. 6. A KÜLTÉRI FÉNYFORRÁSOK TÍPUSAI.....	18
2. 6. 1. Izzólámpák.....	19
2. 6. 2. Fénycsőek.....	19
2. 6. 3. Nagynyomású higanylámpa.....	19
2. 6. 4. Nagynyomású nátriumlámpa.....	20
2. 6. 5. Kisnyomású nátriumlámpa.....	20
2. 6. 6. Fémhalogén lámpa.....	20
2. 6. 7. Neoncsővek.....	20
2. 7. A SÖTÉT ÉGBOLT PARKOK SZEREPE.....	21
2. 7. 1. A Nemzetközi Sötét Égbolt Szövetség.....	21
2. 7. 2. A sötét égbolt parkok követelményrendszere.....	22
2. 7. 3. A sötét égbolt park létesítésének előnyei.....	23
2. 8. A FÉNYSZENNYEZÉS JOGI SZABÁLYOZÁSA.....	24
2. 8. 1. Jogi szabályozás külföldön.....	24
2. 8. 2. Jogi szabályozás Magyarországon.....	24
<b>3. A HORTOBÁGYI NEMZETI PARK, MINT SÖTÉT ÉGBOLT PARK.....</b>	<b>26</b>
3. 1. A SÖTÉT ÉGBOLT PARK MEGVALÓSÍTÁSI ÜTEMEL.....	26
3. 2. VILÁGÍTÁSI TERV.....	26
3. 3. EGYÜTTMŰKÖDÉSI SZERZŐDÉSEK.....	27
<b>4. VILÁGÍTÁSI LETÁR KÉSZÍTÉSE.....</b>	<b>28</b>
4. 1. FELMÉRENDO ADATOK.....	28
4. 2. A FELMÉRÉS EREDMÉNYE.....	30
4. 3. ÉSZREVÉTELEK.....	30
<b>5. AZ ÉJSZAKAI ÉG MINŐSÉGE NÁDUDVARTÓL VALÓ TÁVOLSÁG FÜGGVÉNYÉBEN.....</b>	<b>33</b>
5. 1. CÉLKITŰZÉS.....	33
5. 2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK.....	33

5. 3. MÉRÉSI KÖRÜLMÉNYEK.....	33
5. 4. EREDMÉNYEK.....	34
5. 5. ÉRTÉKELÉS.....	35
<b>6. A FÉNYSZENNYEZÉS MEGOSZLÁSA A TELEPÜLÉSEK KÖZÖTT.....</b>	<b>36</b>
6. 1. CÉLKITŰZÉS.....	36
6. 2. A WALKER-TÖRVÉNY.....	36
6. 3. A SZÁMÍTÁS LÉPÉSEI.....	37
6. 4. ÉRTÉKELÉS.....	40
<b>7. AZ ÉJSZAKAI ÉG MINŐSÉGE A HORTOBÁGYI HALASTAVAK TERÜLETÉN.....</b>	<b>42</b>
7. 1. CÉLKITŰZÉS.....	42
7. 2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK.....	43
7. 3. MÉRÉSI KÖRÜLMÉNYEK.....	43
7. 4. EREDMÉNYEK.....	43
7. 5. ÉRTÉKELÉS.....	45
<b>8. AZ ÉJSZAKAI ÉG MINŐSÉGE PÜSPÖKLADÁNY ÉS NÁDUDVAR KÖZÖTT.....</b>	<b>46</b>
8. 1. CÉLKITŰZÉS.....	46
8. 2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK.....	46
8. 3. MÉRÉSI KÖRÜLMÉNYEK.....	46
8. 4. EREDMÉNYEK.....	46
8. 5. ÉRTÉKELÉS.....	47
<b>9. ÉPÜLETEK FÉNYEINEK ZAVARÓ HATÁSA A MADARAKRA.....</b>	<b>49</b>
9. 1. CÉLKITŰZÉS.....	49
9. 2. ALAPVETŐ TÉNYEK.....	49
9. 2. 1. <i>Spatiális diszorientáció.....</i>	<i>49</i>
9. 2. 2. <i>A horizont fénylésének útmódosító hatása.....</i>	<i>50</i>
9. 2. 3. <i>Immaturek fokozott érzékenysége.....</i>	<i>50</i>
9. 2. 4. <i>A fényárvilágítás pusztító hatása.....</i>	<i>50</i>
9. 2. 5. <i>Tornyok, felhőkarcoló.....</i>	<i>50</i>
9. 3. A MADARAK SZÁMÁRA ATTRAKTÍV HULLÁMHOSSZOK ÉS FÉNYFORRÁSTÍPUSOK.....	51
9. 3. 1. <i>A madarak látása.....</i>	<i>51</i>
9. 3. 2. <i>Kedvezőtlen időszakok és vonzó fényforrások.....</i>	<i>51</i>
9. 4. A VÖRÖS FÉNY JELENTETTE PROBLÉMA MEGSZÜNTETÉSE.....	51
<b>10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>53</b>
<b>11. IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>54</b>

# 1. Bevezetés

Az ember, ha a természetes környezete védelméről van szó, olybá tűnik, hogy nem lehet elég óvatos.

Az évmilliók alatt az evolúció alkalmazkodott egy természetes állapothoz, annak összes mechanizmusával egyetemben. Ijesztő belegondolni, hogy ezt a kifinomult rendszert mennyire egyszerűen fel lehet borítani bármivel, ami a tevékenységünkől származik.

Az Európai Unió egyik fontos környezetjogi alapelve az elővigyázatosság elve, melynek értelmében a környezeti károkat tudatosan meg kell előzni. Azonban egy hosszú időszakon keresztül működő, közvetlenül nem káros forrásról nehéz előre megjósolni, nem lesz-e valamiféle lappangó hatása.

Egy laikus számára egyáltalán nem kézenfekvő, hogy egy számára olyannyira hétköznapi és hozzáférhető dologgal, mint a fény, a világítás, mennyire fel lehet forgatni egy éjszakák és nappalok hosszára és váltakozására alapuló rendszert. Pedig a fényszennyezés mára egy rendkívül valós környezeti és urbanizációs problémává nőtte ki magát.

A fényszennyezésnek az ökológiai oldalon túl egyéb hatásai is vannak; és bár magukat a jelenségeket kiváltó okok már korábban is ismeretesek voltak, nagyságrendjére csak a XX. század végén figyeltek fel. [2] 1970-ben csillagászok írták le azt a jelenséget, ahogy a nagyvárosok kivilágítása, elsősorban a közvilágítás, az irodaházak és a reklámozáshoz használt fényárvilágítás kifényesíti az éjszakai égboltot, ezzel elhomályosítva a csillagokat. A jelenség okai a felfelé jutó fénysugarak légköri szóródása, ami a városok terjeszkedésével fokozódó trendet mutat. Mára kevés olyan hely maradt a Földön, ami kiválóan megfelelne a csillagvizsgálók számára. A jelenségnek pedig nem csak a tudomány a szenvedő alanya; a jelen generáció tagjai lehetnek az elsők, akik sosem tapasztalhatták meg a csillagos égbolt természetes szépségét. Pedig ahogy azt a 2007-ben La Palma-ban (Kanári-szigetek) elfogadott "Nyilatkozat a csillagoségbolt védelmében és a csillagfényhez való jog" kijelentette: "az éjszakai égboltot, amelynek zavartalansága lehetővé teszi annak élvezetét és szemlélését, az emberiség elidegeníthetetlen jogának kell tekinteni, mely egyenértékű minden más környezeti, szociális és kulturális joggal...", kiemelve ezzel a tényt, hogy egy eddig sértetlen jog mára komoly veszélyben van. [3]

Az ökológiai hatások rendkívül sokfélék, ám kimutatásuk, az ok-okozati összefüggés gyakran nehézkes, ami azonban nem zárja ki, hogy nem-e esetleg védett fajok nagyarányú mortalitásával jár. A látványosabb ökológiai hatások egyike a rovarok fényre repülése, de a fény vonz más állatokat, például kétéltűeket is. A vonuló madarakat tájékozódását is megzavarják a különböző fényforrások, ami ütközéssel, egyedpusztulással járhat. De emellett felboríthatja egyes élőlények életciklusát, az aktivitási idejüket vagy a szaporodási idejüket, fokozhatja a ragadozóknak való kitettséget. A sötétséghez szokott, érzékeny állatokat pedig a váratlan, nagy erejű fény akár órákra elvakíthatja.

Azért jelent az állatok számára fokozott veszélyt az állandó közvilágítás, mert velünk, emberekkel ellentétben nem tudnak visszahúzódni otthonaikba, hogy kibújjanak alóla. Ezért úgy viselkednek, mintha ilyenkor is nappal lenne, aminek hatására állandóan kimerültek, gyengék lesznek.

Azonban kimutatták a fény humánegészségügyi hatását is azon esetekben, amikor nem jut hozzá a szervezetünk a pihenéshez szükséges sötétséghez, például birtokháborító

fény, vagy éjszakai műszakban dolgozók esetén. Kijelenthetjük, hogy a hormonális egyensúlyhoz nekünk is szükségünk van a természetes éjszakai állapotra.

Magyarország - Nyugat-Európai szemszögből - fényszennyezés szempontjából még kedvező helyzetben van, ugyanis vannak nagyobb, egybefüggő, a fényszennyezés által kevésbé vagy alig érintett területei, ugyanakkor ezek szinte egybeesnek a nemzeti parkjainkkal. Így hát Magyarországon (Skóciával egyidőben) először hoztak létre csillagos éj rezervátumot, egészen pontosan 2009-ben, a Duna-Dráva Nemzeti Park területén. Erre a minősítésre jelenleg a Hortobágyi Nemzeti Park is jó eséllyel pályázhat.

E szakdolgozat elkészítésével a célom az volt, hogy bemutathassam a fényszennyezést, ezt a kevésbé széles körben ismert jelenséget, és ennek hatásait, a hatások mérséklésének lehetőségeit. Továbbá szeretném vele bemutatni a csillagos éj rezervátumok, vagy másképpen a sötét égbolt parkok jelentőségeit, a bennük rejlő értékeket, azokat az intézkedéseket, amelyeket egy ilyen parkban meg kell valósítani. Ezek mellett szeretném felhívni vele a figyelmet hazánk ilyen jellegű értékeire, mivel ez egy pozitív példaként szolgálhat a jövőbeli fényszennyezési szabályozásokhoz.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2. 1. A fényszennyezés definíciója

A fényszennyezés meghatározása előtt érdemes tisztázni a fény definícióját is. A fény az elektromágneses tér állapotának időbeli változása, amely kettős: hullám- és sugártermészetű, vákuumban kb. 300 000 km/s sebességgel terjed. [4]

A fényszennyezés definíciójának kialakítása azért volt problémás, mert szennyezésen azt értjük, ha az adott káros anyag mértéke meghalad egy adott határértéket. Bár a fény nem ionizáló sugárzasként a magyar környezetvédelmi törvényben már bevezetett fogalom, de határérték híján csupán fényterhelésről beszélhetünk. Éppen ezért a fényszennyezés fogalma külön meghatározásra szorult, és több ilyen is született. Általánosságban fényszennyezésnek csak a mesterséges forrásból származó, napnyugta utáni fényt tekintjük, és azt a fény mennyiséget értjük alatta, ami nem a felhasználás területére jutott.

Az Európai Bizottság 245/2009/EK rendelete szerint a fényszennyezés a mesterséges fény környezetre gyakorolt káros hatásainak összege, ideértve a zavaró fény hatását is. Zavaró fénynek a világító berendezés fényének azon részét érti, ami nem a berendezés rendeltetésének megfelelő célt szolgál, vagyis a megvilágítandó területen kívülre eső fényt, a szórt fényt és az éjszakai égbolt fénylését.

Egy másik, kanadai definíció szerint:

*Fényszennyezés = káprázás + világítási túlkapás + az égbolt fénylése [4]*

#### 1. egyenlet – A fényszennyezés kanadai definíciója

A fenti fogalmak közül a káprázást az MSZ 9620-2 írja le, mely szerint „A látás kényelmetlensége és/vagy a tárgyak felismerhetőségének csökkenése, a fényűrűség szokatlan eloszlásának vagy szokatlan értékének, illetve a térben vagy időben fellépő igen erős kontrasztnak a következtében.” A világítási túlkapás a rosszul irányított fény, amin belül birtokháborítónak számít, ha más épületére, ingatlanára esik és ott káprázást vagy más kellemetlenséget okoz, például a pihenést zavarja.

A Cseh Levegőtisztasági Törvény definíciója szavaival élve a fényszennyezés a mesterséges fényforrásokból származó bármely fény, amely kívül jut azon a területen, amelyre szánták, különösen az a fény, amely a horizont síkja felé irányul. Magyarországon a Magyar Világítástechnikai Társaság is a cseh törvény definícióját ajánlja használatra, azzal a kiegészítéssel, hogy „fényszennyezésnek tekinthető az a megvilágítás is, amely az adott feladathoz szükséges világítási szinteket, szükséges értékeket többszörösen meghaladja.

A fényszennyezés további két kategóriára bontható fel: az asztronómiai és ökológiai fényszennyezésre. Az asztronómiai fényszennyezés az égbolt felé irányuló fény sugarak az égitestek láthatóságát csökkentő hatása, az ökológiai fényszennyezés alatt pedig az élővilágra kifejtett, esetenként meglehetősen komplex hatásokat értjük. [1]

## **2. 2. A fényszennyezés hatásairól összefoglalóan**

### **2. 2. 1. A csillagok láthatóságának csökkenése**

A fényszennyezéssel kapcsolatos legszembeötlőbb probléma a csillagok eltűnése a városi ég felett. Míg egy jobbra zavartalan helyen akár 2000 csillagot is láthatunk szabad szemmel, a nagyvárosok felett már csak a legfényesebb égitestek láthatóak. Továbbá a nagyobb városok fényaurája akár még 100 km-ről is kivehető a horizonton – ez nagyban megnehezíti a csillagászok munkáját, ugyanis egyre kevesebb a megfelelő észlelőhely. Különösen jelentőssé teszi a problémát, hogy Magyarországnak az asztroklímája sem kedvező; gyakran üli meg ködös, poros levegő az alsó légréteget.

### **2. 2. 2. A tájkép sérülése**

Bizonyos esetekben a csillagos égbolt hozzátartozik az adott táj képéhez, és ezért törekedni kell olyan állapotban megőrizni, ahogyan azt a múlt emberei is láthatták. A Hortobágy erre egy jó példa; a helyi pásztorok életmódjához, hiedelmeihez hozzátartoztak a csillagok, mely kultúra gazdagsága magyar viszonylatban is kiemelkedő. Nem véletlen, hogy felmerült a lehetősége annak, hogy a többi természeti és kulturális örökséghez hasonlóan a néhány, kiemelkedő minőségű égbolttal rendelkező helyet is a világörökség részévé nyilváníthassanak. Továbbá nem csak az égboltot, hanem a domborzatot, a tereptárgyakat is beragyogja a mesterséges fény. [19]

### **2. 2. 3. Emberekre gyakorolt közvetlen hatás**

Az éjszakai fény zavarhatja az embereket a pihenésben, a káprázás jelensége pedig különösen a gépjármű-közlekedésben veszélyes. Ismeretes egy per Solymáron, amelyet egy lakos indított a helyi önkormányzat ellen a túlzottan erős közvilágítás miatt, amit meg is nyert. Az éjszakai fény azonban akár rákot is okozhat. Kimutatták, hogy a fény gátolja a melatonin nevű hormon termelődését, ami az éjszakai pihenéskor termelődne a szervezetben, ezzel megnöveli a mellrák kockázatát. [22] Harada 2004-ben kimutatta, hogy már 200-300 lux fényerősségű világítás csökkentette a nyálban található melatonin szintjét. Brainard 2001-ben megállapította, hogy leginkább a 464 nm hullámhosszú fény ártalmas ilyen szempontból. 2007 decemberében a WHO a váltóműszakot is lehetséges rákkeltővé minősítette. [23]

### **2. 2. 4. Energiapazarlás**

Mindaz a fény mennyiség, ami kivilágítja az égboltot, nem oda jutott, ahova az üzemeltetői szánták, tulajdonképpen veszteség. Ezen téren az energiaszolgáltatók és a környezetvédők érdekei megegyeznek.

## **2. 2. 5. A cirkadiális és cirkannuális ritmus felborítása**

A legtöbb faj a bioritmusát a napszakok váltakozásához igazítja; ez a cirkadiális ritmus. Így ha a nappalok hossza mesterségesen kitolódik, a nappal aktív fajok éjszaka is táplálékot keresnek, és csak nagyon keveset tudnak pihenni. Mindenki számára ismert jelenség, hogy a kivilágított utcákon az énekesmadarak még a hajnali órákban is énekelnek. A cirkannuális ritmus az évszakok változásához való igazodás a nappalok és éjszakák hosszának alakulásának függvényében. Ez utóbbi pl. költöző madarakra lehet káros.

## **2. 2. 6. Csapdhatás és taszítóhatás**

Különösen a rovarokra veszélyes a csapdhatás, ugyanis a hazánkban élő rovarok harmada repül fényre. A jelenség okát Buddenbrook fényiránytű elmélete írja le. A rovarok a Hold alapján tájékozódnak, és a fény irányára merőlegesen repülnek. A közeli fényforrásokat Holdnak véelve spirális pályára kényszerülnek, majd a lámpatest közvetlen közelségében rekednek. Ezt az elméletet igazolja az is, hogy teliholdas éjszakákon kevesebb az eltévedt egyed. A csapdhatás veszélyei, hogy a populációkat fregmentálhatja, ezáltal a kisebb populációk veszélyeztetettebbé válnak. Még veszélyesebb, ha a fény ivarok szerint szeparál. Továbbá a madarak, például a fecskék összegyűlhetnek az éjszakai fényre, ezzel akár komoly egyedvesztéseket okozva az adott populációban, éppen ezért rendkívül fontos a fényszennyezés csökkentése a fokozottan védett rovarfajaink érdekében. A városokban már most is sokkal kisebb a lepkék fajgazdagsága, mint mondjuk 30-40 évvel ezelőtt.

Egyes fajok esetén azonban épp ellenkezőleg hat: távol tartja az állatokat, például bizonyos madarak a fénytől távolabb eső helyet választják fészkelőhelyül azonos erőforrás-feltételek mellett.

## **2. 2. 7. Diszorientáció**

A zavaró fényforrások kedvezőtlenül befolyásolják az állatok vándorlását. A rovarok és a madarak esetében egyaránt igaz, hogy a mesterséges fényekkel szennyezett területeken röviden távolságot tesznek meg egy 1 napos intervallumban. Különösen veszélyesek a madarakra nézve a magas, kivilágított objektumok. Becslések szerint 4-5 millió madár pusztul el évente épületeknek ütközés miatt. A kis tengeri teknősök a Holdat használják fel tájékozódásképpen, hogy a tengerhez találjanak, azonban a tengerparti fények megzavarják őket, és a közutak felé indulnak el.

A Hortobágyi Nemzeti Park sok madárfaj, köztük a darvak vonulásának helyszíne, ami egy újabb ok a háborítatlan éjszakai ég megőrzésére.

## **2. 2. 8. Kommunikáció zavarása**

A mesterséges fények akadályozzák az egyedek közti kommunikációt pl. a szentjánosbogarak esetében.

## **2. 3. A fényszennyezés történelme**

### **2. 3. 1. Az ökológiai oldal az ókortól napjainkig**

Az emberiség már régóta ismeri a fény néhány állatokra gyakorolt hatását. Már az őskorban is gyűjtöttek tüzeket a ragadozók távoltartására. Arisztotelész az *Állatok története* című művében már több helyütt említ fényvel kapcsolatos megfigyeléseket. Például arra a következtetésre jutott, hogy míg éjszaka a halrajok általában pihennek, a Hold fényének hatására megállás nélkül vándorolnak tovább. [6] Az 1800-as évek végén a kutatók aggodalmukat fejezték ki a világítótoronyoknál elpusztuló madarak nagy száma miatt. A téma egy jeles kutatója, F. J. Verheijen 1958-as monográfiájában beszámol a mesterséges fények jelentette csapdahatásról, mely elsősorban rovarokat és madarakat érint. A fénynek az ilyen jellegű vonzó illetve diszorientációt kiváltó hatásait pozitív fototaxisnak nevezzük. 1963-ban McFarlane figyelmeztett a tengeri teknősök tengerpart menti mesterséges fényforrások általi diszorientációjára. 1985-ben Verheijen bevezette a fotoszennyezés fogalmát, mely alatt a mesterséges fények összes, az élővilágra kifejtett káros hatását érti. Ennek a cikkének a jelentősége az volt, hogy eddig a kutatók a fény hatásait egyszerre csak egy taxonon vizsgálták. [1]

### **2. 3. 2. Az asztronómiai fényszennyezés feltérképezése**

A fényszennyezésnek a leglátványosabb következménye azonban nem valamilyen élővilágra gyakorolt hatás, hanem az éjszakai égbolt kifényesedése. Először a 70-es években jelezték a problémát a csillagászok, akiknek a munkáját nagyban megnehezíti ez a jelenség. A városok terjeszkedésével, fejlődésével pedig a probléma által érintett területek rohamosan nőttek, és egyértelművé vált, hogy lépni kell a további állapotromlás megakadályozása érdekében.

A Nemzetközi Csillagászati Unió 1997-ben kijelentette: „A csillagos ég az egész emberiség öröksége, amit ezért érintetlenül meg kell őrizni. ... A csillagos ég kapjon legalább annyi védelmet, mint amennyit a világ örökség részét képező helyek kaptak a Földön” [7]

Hogy felderítsék a fényszennyezés mértékét, egy külön erre a célra alapult olasz kutatócsoport, a Light Pollution Science and Technology Institute (Fényszennyezés Tudományos és Technikai Kutatóintézete) Pierantonio Cinzano vezetésével egy átfogó térképet készített először Európa, majd az egész Földünk állapotáról. A felmérés eszköze az F12-es DMSP (Védelmi Meteorológiai Szatellit Program) műhold volt, amellyel a földfelszínről a világűr felé emittált fény fluxusát mérték. Figyelembe véve a fényszóródás fizikáját, a felhőzöttséget, a domborzatot és a terület felszínét a 30"x30" (kisebb, mint 1 km<sup>2</sup>) pixelméretű kapott kép alapján kiszámolták az éjszakai égbolt háttérfényességét. [9]

Az égboltnak létezik egy természetes háttérfényessége is. Természetes fénylés alatt a távoli csillagok fényét, a csillagközi porrról visszaverődő, valamint a felső légkörben, a felhőkön jelentkező fényt értjük. A határfényesség azt jelenti, hogy ehhez a természetes értékhez képest hányszoros a fluxus. Fényszennyezésnek pedig ebben a tanulmányban azt tekintették, hogyha a mesterséges határfényesség eléri a természetes 10%-át.

Az elmúlt 20-30 évben azonban a mesterséges háttér értéke egyes városok területén megtízszereződött. A nagyobb városok, pl. Budapest fényaurája olyan erős, hogy még 100 km-es távolságból is hatással van az ég fényességére.

Az 1. ábra szemlélteti a világűrbe kijutó fénymennyiséget. Ezeknek a forrása lehet település, tűz (efemer szárazföldi fény), gázfáklya, vagy erősen kivilágított halászhajó. Egyértelműen látszik, hogy a túlzásba vitt világítás a fejlett országokra jellemző, míg ezzel szemben egyes túlnépesedett, fejlődő országokban található nagyobb települések csak alig észrevehetőek.



1. ábra - A Föld éjjel [8]

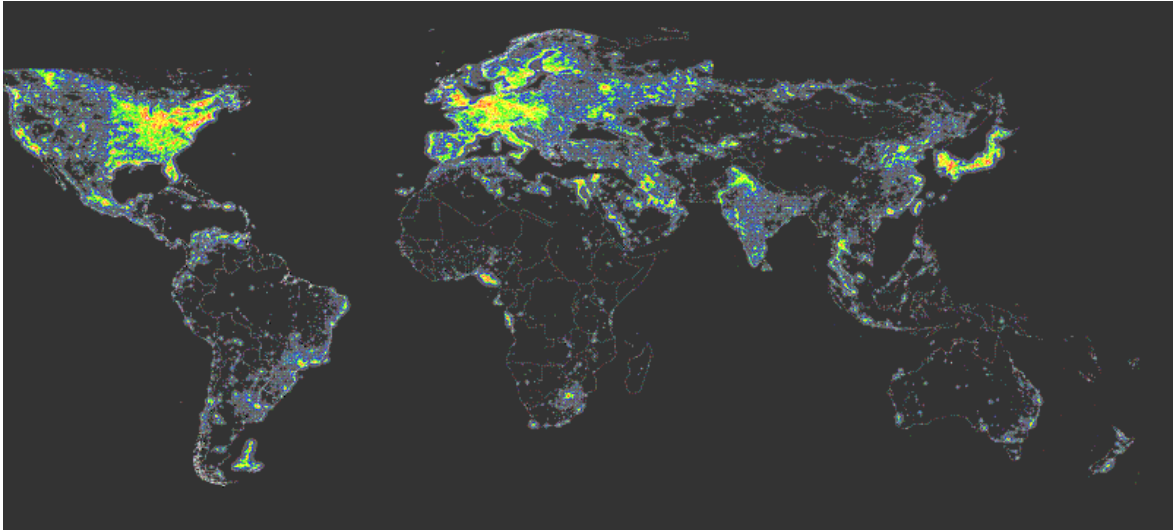
A kutatók többféle rendszer alapján készítettek térképeket, például az összesített éjszakai ég fényessége, vagy a látható csillagok száma alapján. Emellett becsléseket végeznek fényszennyezés növekedési ütemére tekintve is. Európában és az egyesült államokban egyaránt átlagosan évi 5-10%-os, exponenciális növekedést prognosztizáltak.

A 2. ábrán színskálával mutatja be a mesterséges hatérfényesség értékét a természeteshez viszonyítva a Föld vetületén.

Az egyes színekhez tartozó értékek:

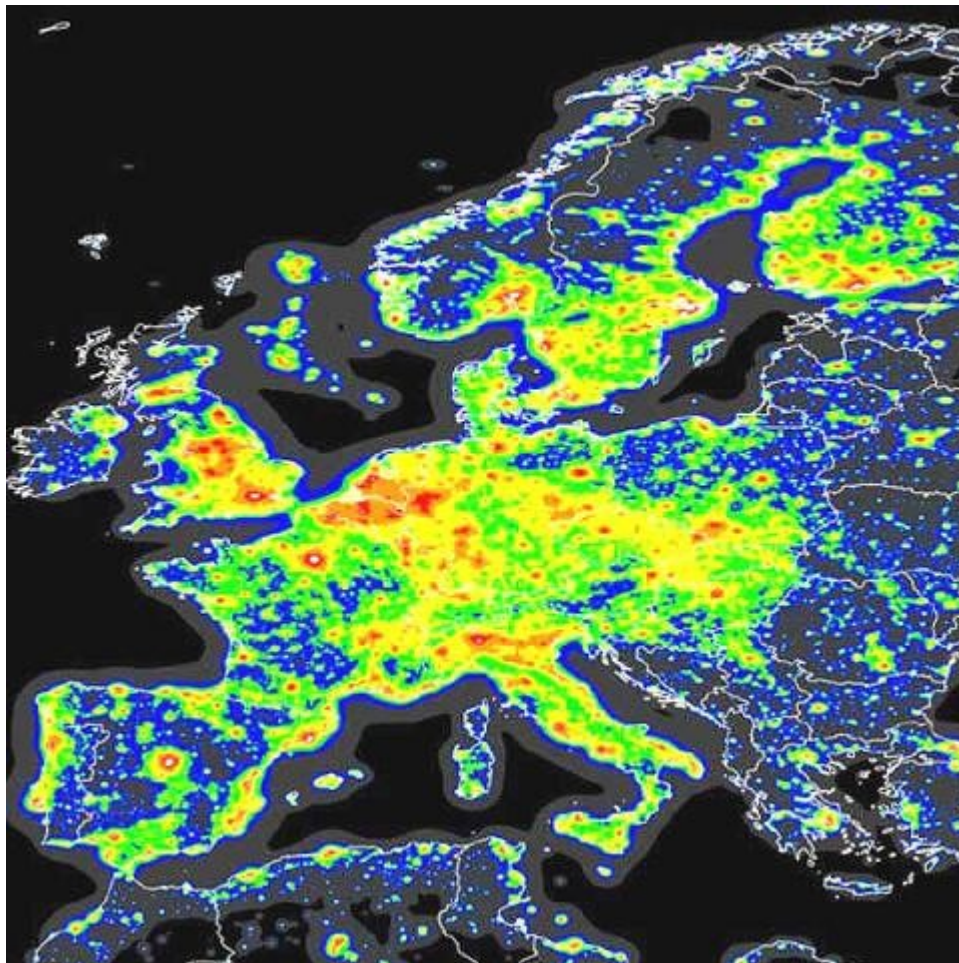
- fekete: kisebb, mint 0,11
- kék: 0,11-0,33
- zöld: 0,33-1,0
- sárga: 1-3
- narancs: 3-9
- vörös: nagyobb, mint 9

Ebben a 2001-es világtaszban jól kivehető az Egyesült államok keleti oldalának, Európának és Japánnak a dominanciája a probléma súlyosságát illetően.



2. ábra - Mesterséges háttérfényesség a Föld területén (2001) [8]

Az Európára vonatkozó térképrész 2000-ben készült. Látható, hogy Olaszország északi részén, Németország nyugati oldalán, a Benelux-államokban, illetve Angliában már most is nagyobb területekre jellemző a narancs és a vörös szín. A 2025-ös becslésekben már szinte egész Európára a vörös árnyalat a meghatározó!



3. ábra - Mesterséges háttérfényesség Európában [8]

## 2. 4. A légköri fénylés oka

Az eddigiekben már bemutatásra került, hogy a világítási túlkapás, a zavaró fények, ebből is elsősorban a közvetlenül felfelé irányuló fény mennyiség az égbolt kifényesedését okozza. Most ennek a jelenségnek a fizikai magyarázatára kerül sor.

Leszámítva a természeteses háttérfényességet (ld. később) az éjszakai ég fénylését összességében a felhők megvilágításából, és a levegő molekuláin, a levegőben lévő porokról és aeroszolookról szóródó fény okozza.

Az aeroszokok gázban kvázistabilan diszpergált folyadékcseppek vagy szilárd szemcsék, mérete a 0,01  $\mu\text{m}$  és 10  $\mu\text{m}$  közötti tartományba esik. Ködről beszélünk, ha kizárólag folyadékcseppek vannak jelen. A por szemcseátmérője finomságától függ; a nagyon finom por 0,1-10  $\mu\text{m}$  közötti, a finom por 10-100  $\mu\text{m}$ , a durva por átmérője 100  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb. [11]

A fény hullámhosszánál nagyságrenddel kisebb szemcséken, molekulákon a látható tartományában jellemzően irányváltásra kényszerül, és ilyenkor Rayleigh-szórás történik, míg az infravörös tartományban a fény elnyelődik ezeken a levegőben található részecskéken. A fényszóródás mértéke ugyanis függ a részecske nagyságától és a fény hullámhosszától, melynek negyedik hatványával fordítottan arányos. Közel azonos szemcseátmérő esetén, aeroszoloznál Mie-szórás történik.

Rayleigh-szórásnál a szórási kép hengersizmetrikus a beeső fény iránya, mint tengely körül és tükrorszimmetrikus a beeső fény irányára merőleges síkra. A szóródott fényhullám hossza és fázisa nem változik meg, polarizációja azonban eltér a beeső fényétől.

$$x = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}$$

### 2. Egyenlet - A Rayleigh-szórás

Ebből a törvényszerűségből következik a nappali ég kék színe; ez a fény ugyanis nem egyenesen érkezik a szemlélőhöz, hanem a légkörben szóródott. Ez a kék árnyalat a szóródott fények színének súlyozott átlaga, valamint az ember által érzékelt színspektrum következménye. Azonban minél inkább a horizont szintjén található a Nap, annál hosszabb utat tesz meg a fénye a légkörben. Mikorra a szemlélőhöz érkezik, az alacsony hullámhosszú fény már szétszóródott; ez okozza napnyugtakor az ég narancsvörös színét. Továbbá a horizont szintjén ötször nagyobb fénysűrűség érkezik be, mint a zenit felől, szín szerinti eloszlása a Napéhoz lesz hasonló, bár ebbe még beleátlagolódik a földfelszínről, a növényzetről reflektálódó fény. [10]

Ezzel szemben a felhők nagyobb méretű szemcséi, a vízzel, jégkristályokkal borított kondenzációs magvak nem bontják szét szín szerint a fényt, hanem hullámhossztól függetlenül szórja azt, így szürkés-fehéres színűnek tűnnek. [11]

Az eddig leírtakhoz hasonlóan viselkednek a földfelszínről származó fénysugarak is. Ezek kb. 70%-a akadálytalanul távozik a légkörön keresztül a világűrbe, 30%-a pedig szóródik; ennek a fele lefelé szóródik és ezzel megnöveli az ég fényességét. Feltételezve, hogy a visszajutó fotonok egy hányada a földfelszínről ismét fölfelé reflektálódik és újra szóródik, további 1-2%-kal növekedik meg a fényszennyezés. [10] A felfelé jutó, mesterséges fény tehát teljesítményének kb. harmadával fényesíti ki az eget.

## **2. 5. A fényszennyezés mérési eszközei**

Az égitestek fényességét a magnitúdó határozza meg. A kisebb szám nagyobb fényű égitestet jelent, és 1 magnitúdó különbség kb. 2,512-szeres fényességkülönbséget jelent. A nagyon fényes égitestekhez (pl. Szíriusz) negatív érték is tartozhat. Az észlelő személyétől függően szabad szemmel, szennyezésmentes légkörben, holdtalan éjszakán a 6-7,5 magnitúdós csillagok azok, amik még éppen láthatóak. A még látható leghalványabb égitest magnitúdója a határmagnitúdó; az amatőr csillagászok rendszerint ennek megadásával minősítik az éjszakai eget. Ez az alapja az égbolt szabad szemmel történő mérésének.

### **2. 5. 1. Az égbolt szabad szemes mérése**

Szabad szemmel történő meghatározására több módszer ismeretes:

#### **Fiastyúk-módszer**

A Plejádok csillagkép leghalványabb látható csillagát keresi meg.

#### **Sarkcsillag-módszer**

A Kis Medve csillagkép legkisebb határmagnitúdójú csillagát keresi meg.

#### **Változócsillag-atlasszal történő meghatározás**

A Zenitben található leghalványabb csillagot veszi figyelembe.

#### **Pegazus-módszer**

A Pegazus-csillagkép négy igen fényes csillaga által behatárolt, téglalap alakú területen számolja meg a bezárt csillagokat, és ebből következtet az ég határmagnitúdójára táblázat segítségével [12]

#### **A Bortle-skála**

A fenti módszerek azonban csak egy viszonylag szűk intervallumban használhatóak kellő pontossággal. Ezért 2001-ben John E. Bortle létrehozott egy kilencfokozatú skálát, amelynek minden fokozatában megadja egyes csillagképek, a Tejút és az állatövi fény láthatóságát, az égfénylést és a horizonton feltűnő fénybúra mértékét. A skálán az 1-es érték jelenti a legsötétebb eget. Ezzel a módszerrel már 4 és 8 közötti határmagnitúdót is meg lehet állapítani. Mivel a mérés az esztétikai megítélésen alapszik, ezért, bár kevésbé pontos, sokkal egyszerűbb alkalmazni, valamint a csillagképek ismerete sem szükséges hozzá, ezért amatőr csillagászok számára kiváló.

#### **Schaaf-skála**

1-től 7-ig terjedő skála a zenit határmagnitúdója alapján (ahol 7 a legtisztább ég)

A mérés megtörténte után rögzíteni kell annak pontos helyét, mivel a tapasztalt érték térben jelentősen eltérhet. Ezért a földrajzi koordinátákat GPS-készülékkel rögzíteni érdemes.

A szabadszemes mérések közös problémája, hogy azok függenek az észlelő szubjektivitásától, mint például a látás élessége, sötétséghez való alkalmazkodottság.

1. Táblázat - A Bortle-skála

	Megnevezés	Színkód a térképeken	Tejút	Mély-ég láthatóság	Állatövi fény, csillagképek	Égfénylés, felhők	Az éjjeli ég látványja	Határ-magn.
1	Kiválóan sötét egű hely	fekete	A Tejút sok részletét mutat, a Skorpió-Nyilas környéke szembeszökő árnyékot vet a földön	A Triangulum-kód (M33) szembeszökő	Az állatövi fénynek láthatóan színei vannak és átnyúlik az egész égen	Kékes égfénylés látható a horizont közelében, a felhők sötét pacaként látszanak a csillagok hátterében	A Vénusz és a Jupiter zavarja az éjjeli ég látványát, a tereptárgyaknak alig van valami fényük, a fák és a hegyek sötétek	7,6-8,0
2	Jellegzetes valóban sötét hely	szürke	A nyári Tejút sok részletet mutat és erezettnek mutatkozik	A Triangulum-kód közvetlen látással látható csakúgy, mint sok gömbhalmaz	Az állatövi fény elég fényes, hogy gyenge árnyékot vessen napnyugta után és színesnek tűnik	Az égfénylés gyengén látható, a felhők sötét ürességként látszanak	A felszín nagyobbbrészt sötét, de a kiálló tereptárgyak felismerhetőek	7,1-7,5
3	Vidéki ég	kék	A Tejút még összetettnek látszik, sötét ürességek, fényes foltok és a körvonalának kigyózása látható	A fényesebb gömbhalmazok pontosan kivehetőek, a Triangulum-kód elfordított látással látható	Az állatövi fény feltűnő tavasszal és ősszel, egészen 60 fokra felnyúlik horizont fölé	Az égfénylés nem látható, a felhők halványan megvilágítottak, kivéve a zenit környékén	Egy kevés fényszennyezés a horizont mentén nyilvánvaló, a tereptárgyak bizonytalanul látszódnak	6,6-7,0
4	Vidéki-külvárosi átmenet	zöld (4,5 = sárga)	Csak jóval a horizont felett mutat a Tejút némi struktúrát, de a finomabb részletek eltűntek	A Triangulum-kód elfordított látással látható is csak nehezen látható, de az Androméda-kód szembeszökő	Az állatövi fény nyilvánvaló, de legfeljebb 45 fok magas napnyugta után	A felhők halványan megvilágítottak, kivéve a zenit környékén	Néhány irányban a fényszennyezés fényburái látszódnak, az ég észrevehetően fényesebb a földnél	6,1-6,5
5	Külvárosi ég	narancs	A Tejút sápadtnak tűnik, a horizont közelében eltűnik	Az Androméda-kód (M31) oválisa észrevehető csakúgy, mint az Orion-kód fényfoltja	Csak a nyomai látszanak az állatövi fénynek tavasszal és ősszel	A felhők észrevehetően fényesebbek az égnél, még a zenitben is	A hétköznapi embereknek is nyilvánvalóak a fényszennyezés fényburái, a tereptárgyak részben látszódnak	5,6-6,0
6	Fényes külvárosi ég	piros	A Tejút csak magasan látható és megszakad, amint a halványabb részei elvesznek a horizont feletti fényekben	Az Androméda-kód halvány foltként látható, a az Orion-kód csak néha pillantható meg	Az állatövi fény nem látható, de a csillagképek igen, és nem vesznek bele a csillagok sűrűjébe	A felhők meglehetősen fényesnek tűnnek az ég bármely részén, amint visszaverik a fényt	Az ég egészen 35 fok magasságig szürkés színű, a tereptárgyak jól látszódnak	5,1-5,5
7	Külvárosi-városi átmenet	piros	A Tejút alig vagy egyáltalán nem látható	Az Androméda-kód és a Jászol (M44) csak néha pillantható meg	Az állatövi fény nem látható, a csillagképek a legkönnyebben felismerhetőek	A felhők fényesen világítanak	Az egész égnek sárgás és szürkés háttere van	4,6-5,0
8	Nagyvárosi ég	fehér	nem látható	A Fiastyúk (M45) feltűnő, de nagyon kevés mély-ég objektum látható	Az állatövi fény nem látható, néhány halványabb csillagkép jellegzetes csillaga hiányzik	A felhők fényesen világítanak	Az egész égnek narancssárgás háttérfénylése van és elég fényes ahhoz, hogy olvasni lehessen	4,0-4,5
9	Belvárosi ég	fehér	nem látható	A legtapasztaltabb észlelőket kivéve csak a Fiastyúk látható	Csak a legfényesebb csillagképek felismerhetőek	A felhők fényesen világítanak	Az egész égnek erős háttérfénylése van, még a zenitben is	<4,0

## **2. 5. 2. Mérés WASBAM-SSH műszerrel**

A WASBAM-SSH műszert Pierantonio Cinzano fejlesztette ki 2004-ben, mely egy spektrofotométer fej és egy égbolt fényességét kiszámító automatikus szoftverrendszer ötvöze. A műszert azért alkották, hogy lehetővé tegye a különböző fényhullámhosszok külön történő kiértékelését, ami hatalmas segítség lehet pl. ökológiai hatások feltérképezésekor.

A fej tartalmaz egy 760\*510 pixeles Kodak CCD kamerát, egy De Amici prizmarendszert, és cserélhető Tessar típusú lencsét 30 mm-es fókusz távolsággal. A kamera hőmérsékletét Peltier hűtő szabályozza. A résátmérő állítható. A spektrofotométer önmagában 1,9 kg, a számítógép vezérelte állvánnyal 7,6 kg. A kalibráció higany-argon lámpával történik.

A műszer pontossága publikálásakor  $\pm 10\%$  volt a 420 és 950 nm közötti hullámhosszon. Az érzékenység 400 és 500 nm között rohamosan változik az üveg abszorpciója miatt. [13]

## **2. 5. 3. Mérés IL1700 műszerrel**

Az IL1700 egy mobil radiométer az expozíciós szint meghatározására. Tíz érzékenységi beállítást képes a memóriájában tárolni. Előnye, hogy rendkívül sokfajta detektorral és szondával használható, ezáltal széles spektrumon használható és az aktuális körülményekhez (pl. magas hőmérséklet) konfigurálható, mindezt 0,2%-os pontossággal. Hátránya, hogy szállítása súlyánál fogva nehézkes, ami megnehezíti az egymást követő pontokon való mérést, emellett igen drága is. [14]

## **2. 5. 4. Mérés Minolta LS-100 fénysűrűségmérővel**

Az LS-100 fénysűrűségmérő konkrét fényforrások fénysűrűségének külön történő megmérést teszi lehetővé. A háttérfényesség ismeretében, és egy digitális távolságmérővel megmérve a fényforrás távolságát kiszámolható a szemlélő felé érkező fénysűrűség. A műszer  $\pm 2\%$ -os pontossággal dolgozik. Ezzel a módszerrel egyúttal az azimut szög is meghatározható. [15]

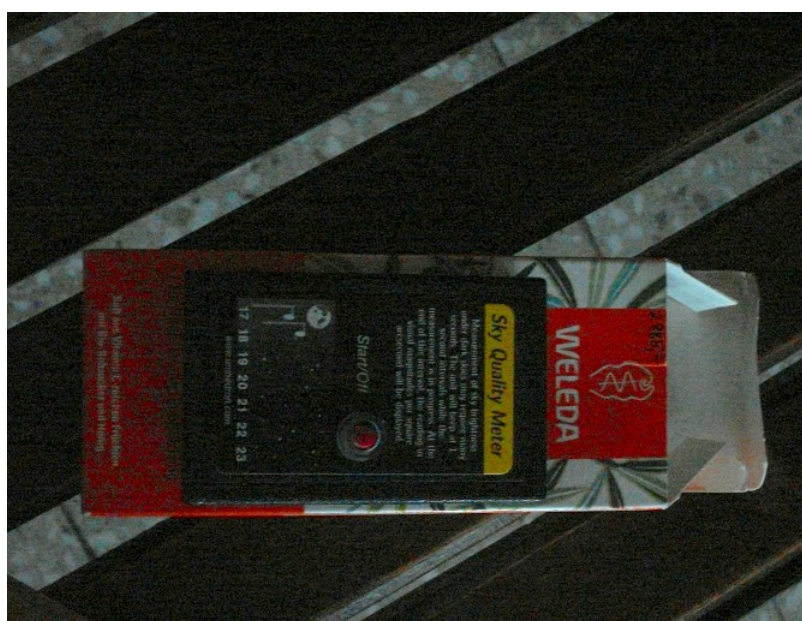
## **2. 5. 5. Mérés fénysűrűség alapján Unihedron műszerrel**

A fényszennyezés monitorozására széles körben, Magyarországon 2007 óta használják az Unihedron gyártmányú SQM (Sky Quality Meter) mérőműszert – jelenleg 11 van belőle országunkban. A műszer felépítése rendkívül egyszerű, és óriási előnye, hogy akár zsebben is elfér. Viszonylag nagy, 1,5 szteradián térszögből (azaz egy kb. 42°-os fél nyílásszögű egyenes kúpból) méri és átlagolja a beérkező fény mennyiség fénysűrűség értékét, melynek hivatalos mértékegysége a magnitúdó per szögmásodpercnégyzet ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ).

A készüléket a gyártó kalibrálja a hőmérséklet-ingadozáshoz (320 és 700 nm között), és  $0,1 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$  pontossággal határozza meg az ég fénysűrűségét. A jól értelmezhető méréshez azonban kedvező körülmények szükségeltetnek; elsődleges a felhő- és ködmentes időjárás (az ég felhőzettsége 5% alatt legyen). A Napnak  $18^\circ$ -kal a horizont

alatt kell lennie (csillagászati szürkület), ugyanakkor a Holdnak is a horizont alatt kell tartózkodnia, illetve a mesterséges fényforrásokat is ki kell zárni. A mérést olyan helyen kell végezni, ahol tereptárgyak (pl. fák) nem árnyékolnak, a műszert a detektort és a kijelzőt tartalmazó oldalával a zenit felé tartva. [16]

Cinzano és mtsai., hogy meghatározzák a műszer a hagyományos mérések eredményétől való eltéréseinek mértékét és karakterisztikáját, szintetikus fotometriát és más laboratóriumi tesztek végeztek. Forgó asztalra helyezve a műszert és ismert fénysűrűségű világító forráshoz képest elforgatva  $0,3-0,4 \text{ mag/arcsec}^2$  különbséget mutatott ki  $0^\circ$  és  $30^\circ$  közötti zenittávolság esetén.  $30^\circ$  és  $45^\circ$ -os távolságnál már jelentős lehet az eltérés, ezért az ilyen mérés kerülendő, ha a fényforrás vagy a háttérfényesség ismeretében nem tudunk korrigálni. Ennek oka az, hogy a nagyobb észlelési térszög miatt több fotont gyűjt össze, ami lehet visszaverődött fény, vagy akár a horizont fényessége. Összességében a műszert jónak ítélték meg, hozzátevé, hogy Johnson-féle V- és B-csatorna, illetve CIE szűrők használatával az eredmény pontossága tovább növelhető. [17]



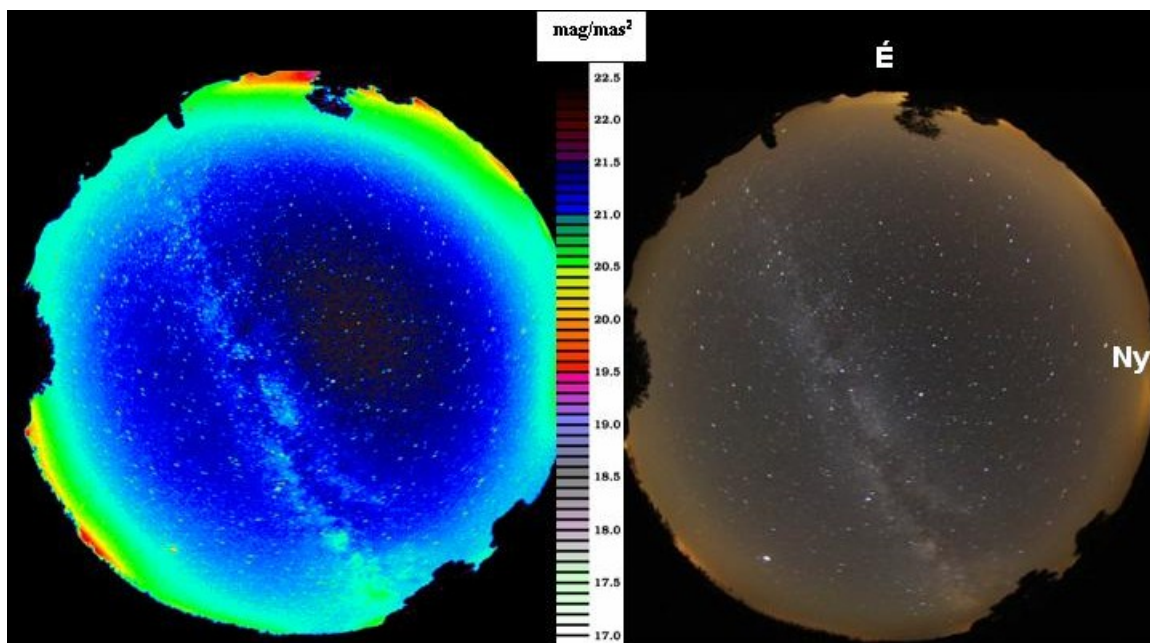
4. ábra – UniHedron SQM mérőműszer

## 2. 5. 6. Mérés DSLR fényképezőgéppel

A mérés egyik lehetséges eszköze a digitális fényképezőgép.

A kalibrált digitális kamerával készült, nyers képről hamisszínképet nyerünk, és egy skála alapján erről meg lehet határozni az ég fényességét, melynek mértékegysége lehet magnitúdó per szögmásodperc négyzet ( $\text{mag/arcsec}^2$ ), vagy kandela per négyzetméter ( $\text{cd/m}^2$ ). Az expozíciós időnek a fényviszonyok miatt legalább 3-5 percnak kell lennie, ezért a kép készítéséhez értelemszerűen tripod állvány is szükségeltetik. A tapasztalat azt mutatja, hogy gondos kalibrálással a műszer tizedpontossággal tud mérni ( $0,04-0,06 \text{ mag/arcsec}^2$ ). Jó képek készítéséhez azonban kiemelkedően tiszta, felhő- és páramentes égboltra van szükség.

A módszer továbbfejleszthető azzal, hogyha a készüléket kiegészítjük egy panorámakép készítésére alkalmas halszemoptikás lencsével. Ez a speciális optika lehetővé teszi, hogy az egész eget egyetlen képen ábrázoljuk. A módszert eredetileg a US National Park Service dolgozta ki. A hasonló alapokon nyugvó, ám annál lényegesen egyszerűbb DCLUM szoftveres módszert Dr. Kolláth Zoltán fejlesztette ki.



**5. ábra - A Hortobágyi halastavaknál készített halszemoptikás kép [19]**

Az 5. ábrán egy ilyen hamisszínképpel készült képet és annak eredetijét látni. A szegélyen megjelenő, nagyobb fénysűrűséghez tartozó színek oka a horizont természetes fénylése. A piros árnyalat (19,5 mag/arcsec<sup>2</sup>) azonban már a közelben található telepek mesterséges fényforrásaira, vagy egy néhány km-re lévő település jelenlétére enged következtetni. [18]

A képek alapján meg lehet határozni az égbolt teljes fényességét magnitúdóban. Emellett vetületi kép készíthető róluk, amire egy négyzetrácsot helyezve szemléltetni lehet a zenittel bezárt szöget. A mérésekből származó képeket egy térképre felhelyezve átfogó fényszennyezettségi térképet kapunk, ami jól reprezentálja a nemkívánatos többletfény irányát. [19]

## **2. 5. 7. Hiperspektrális távmérés**

A fényszennyezés monitoringját először 2001-ben, Olaszországban végezték el ilyen technológiával. A mérés során két képalkotó műszert: egy multispektrumú infravörös és látható képalkotó spektrométert (MIVIS) és egy látható-infravörös szkennert repülőgépre helyeztek, és onnan 1,5-2 km-es magasságban felvételeket készítettek. A módszer nem az égboltot figyeli meg, hanem elsősorban városok, városrészek fényszennyező hatásainak tanulmányozására alkalmas. Azáltal, hogy ezekkel a műszerekkel 10, illetve 20 spektrumot lehet egyszerre figyelni, lehetségessé válik a település fényszennyezésének mértékét a fényforrások típusai (higanylámpa, nátriumlámpa, stb.) szerint megkülönböztetni. [20]

## **2. 6. A kültéri fényforrások típusai**

A kültéri lámpák több paraméter alapján kerülhetnek megválasztásra, mint például teljesítmény, élettartam, szín, fényeloszlás, fényáram-stabilitás, stb...

## 2. 6. 1. Izzólámpák

Napjainkban az egyik leggyakoribb világítótest, azonban fényhasznosításuk kicsi, sok energia veszik el feleslegesen hőtermelésre, és az élettartamuk is igen rövid. Lehet vákuumos, de bróm vagy jód töltőgáz használatával növelni lehet a fényhasznosítását. Az említett hátrányok miatt az Európai Unió szabályozása értelmében Magyarországon 2009 szeptembere óta a 100 W-os és afeletti teljesítményű izzók már nincsenek bolti forgalomban.

## 2. 6. 2. Fénycsövek

Jellemzően beltéren alkalmazzák, de egyre jobban terjed kültéren is. Működésük kisnyomású ívkisülésen alapszik; az ebből származó ultraibolya sugárzás által gerjesztett foszforréteg bocsátja ki a fényt, alacsony nyomáson. A fényük lehet meleg, semleges és hideg fehér attól függően, hogy milyen színvisszaadásra van szükség. Fényhasznosítása körülbelül a négyszerese az izzólámpának, élettartama pedig a hatszorosa. Hátrányuk azonban a nagyobb méret, a rovarokra kifejtett vonzó hatása, a higanytartalma tönkremenetelkor és a rossz teljesítményük alacsony hőmérsékleten – ez utóbbi ok miatt használatosak továbbra is izzók pl. hűtőszekrényben.

## 2. 6. 3. Nagynyomású higanylámpa

Működési elve a fénycsövekéhez hasonló, ám ahogy neve is mutatja, nagy nyomást alkalmaz. Beüzemeléskor kékes fénnel világítanak. Az 50-es, 60-as években terjedtek el a kültéri világításban, mára azonban viszonylag alacsony fénytelsítményük, ultraibolya-kibocsátásuk és gyenge színvisszaadásuk (amennyiben nem tartalmaz belül foszforbevonatot) miatt kiszorulóban vannak. Tényleges élettartamuk hosszú, ám fénytelsítményük idővel lecsökken, miközben a fogyasztása változatlan marad.



6. ábra - Izzók, fénycsövek, halogénlámpák, LED-ek

## 2. 6. 4. Nagynyomású nátriumlámpa

Az első olajválság idején kezdett elterjedni, mivel energetikailag rendkívül hatékony. Fő alkotóeleme a higany és a nátrium: a fénykibocsátását a higany által gerjesztett nátriumgőzben történő ívkiülés adja. Fényhasznosítása és élettartama magas, színvisszaadása azonban nem túl jó. A teljes fényárama eléréséhez hozzávetőlegesen 10 perc szükséges. A közvilágításban, utak mentén számos ilyen lámpa található, bár a fehér fényű fényforrások erre alkalmasabbak lehetnek a közúti balesetek elkerülése érdekében (a jobb fékidő miatt). Belterekben csak speciális esetben használják.

## 2. 6. 5. Kisnyomású nátriumlámpa

Fő alkotórésze a nátrium. Színképe közel monokromatikus sárga (589 nm-es hullámhosszú fényt bocsát ki), ezért beltéren nem használható. Közvilágításként és biztonsági fényként használják. A fényszennyezés szempontjából rendkívül kedvező fényforrás, mivel energiahasznosítása jó, a szegényes színspektrum kevésbé vonzza a rovarokat, és ennek tömeges használatával a csillagvizsgálók is könnyebben ki tudják szűrni a városi fényt. Élettartama kicsivel rövidebb, mint a nagynyomású nátriumlámpáé, és a melegedési ideje is átlagosan pár perccel hosszabb, azonban mivel higanyt sem tartalmaz, így összességében ezt tekinthetjük a leginkább környezetbarát lámpatípusnak.

## 2. 6. 6. Fémhalogén lámpa

A higanyhoz kiegészítésként fémek, például skandium vagy nátrium jodidjait adják. Fényteljesítménye a hagyományos izzónál és a higanylámpáknál magasabb. Színvisszaadása jó, kültéren a nagyobb energiaigény miatt csak speciális esetekben alkalmazzák, ahol ez a színvisszaadás fontos követelmény. Élettartama kevéssel a nátriumlámpáké alatt marad. Hulladékká válásakor sajnos számolni kell a benne lévő higanyval is.[2]

## 2. 6. 7. Neoncsövek

A jellemzően kicsi átmérőjű neonlámpák fényét a gázban áthaladó elektromosság adja; a fény színe a benne lévő gáztól és az esetleges foszforrétegtől függ, ami ennél fogva sokféle lehet. Fő célja nem a kültéri világítás, hanem a dekoráció, az épületek karakterének visszaadása éjszaka. Ennek ellenére fénykibocsátása – és fényszennyezéshez való hozzájárulása – számottevő lehet.



7. ábra - Higany- és nátriumlámpa

Léteznek további lámpatípusok is (pl. xenonlámpa, LED-ek), de azokra a kültéri használat nem, vagy még nem jellemző. [21]

## **2. 7. A sötét égbolt parkok szerepe**

A csillagos ég rezervátumok vagy – a Magyarországon elterjedtebb kifejezéssel élve – sötét égbolt parkok olyan területek, ahol egy megállapodás értelmében védik az éjszakai égbolt minőségét és az ahhoz társuló tudományos, kulturális és természeti értékeket. [3]

Más megközelítésben a sötét égbolt parkok olyan állami- vagy magánterületek, amelyek kivételes minőségű éjszakai éggel rendelkeznek, és a terület elsődleges célja ezeknek a természeti adottságoknak a védelme.

### **2. 7. 1. A Nemzetközi Sötét Égbolt Szövetség**

A Nemzetközi Sötét Égbolt Szövetség (International Darksky Association, IDA) az első és máig a legfontosabb, a fényszennyezés kérdéskörével foglalkozó társaság. 1988-ban, az Amerikai Egyesült Államokban alapította meg Dr. David L. Crawford és Dr. Tim Hunter, mint nonprofit szervezetet. Mára több, mint 10000 tagja van (köztük van pl. a Magyar Világítástechnikai Társaság is). Az IDA kulcsszerepet játszott a fényszennyezés rohamos terjeszkedésében azáltal, hogy cikkeket közölt a témáról, segédleteket adott ki a világítással foglalkozó társaságoknak, vállalatoknak, világítási rendeletek megalkotását kezdeményezte, valamint találkozókat és programokat szervezett.

Az IDA egyik programja, az IDSP (Nemzetközi Sötét Égboltú Helyek) keretében olyan közösségeknek, parkoknak és rezervátumoknak, amelyek kivételes éjszakai égbolttal rendelkeznek, ezt igazoló tanúsítványokat ad ki.

Az első sötét égbolt park az Utah állambeli Natural Bridges National Monument volt 2006-ban. A park a kilencfokozatú Bortle-skálán 2-es értéket ért el, és arany besorolást kapott. Jelenleg összesen 9 területet nyilvánított az IDA sötét égbolt parkká; ezek egyike a magyar Zselici Csillagoségbolt-park, ami a skóciai Galloway Parkkal közösen, 2009-ben kapta meg ezt a címet. A Zselici Csillagoségbolt-park ezüst besorolású lett. (a besorolások megítélését ld. 2.7.2.)

A világ sötét égbolt parkjai:

- National Bridges National Monument – 2006, Utah, USA
- Mont Mégantic International Dark Sky Reserve, 2007, Kanada
- Cherry Springs State Park – 2008, Pennsylvania, USA
- Geauga Park District's Observatory Park – 2008, Ohio, USA
- Galloway Forest Park – 2009, Skócia
- Zselici Tájvédelmi Körzet – 2009, Magyarország
- Potawatomi Dark-Sky Preserve, 2009, USA
- Clayton Lake State Park – 2010, New Mexico, USA
- Goldendale Observatory Park – 2010, Washington, USA

Léteznek ezenkívül további sötét égbolt parkok, amelyeket más szervezet ismert el (pl. UNESCO, RASC), de ezek nem annyira egységesek, így az IDA elismerése jelenti a legnagyobb rangot.

Magyarországon a védett területek gyakorlatilag egybeesnek a jó minőségű éjszakai éggel rendelkező területekkel. Éppen ezért fontos, hogy ezeken a helyeken megőrizzük a természet ezen aspektusát. A Hortobágyi Nemzeti Park a Zselici példát követve szintén csatlakozott az IDA kezdeményezéséhez. Jelenleg ez a másik legkevésbé fényszennyezett területünk; legnagyobb része természetes égboltú zónának (TÉZ) tekinthető, így szintén sikerrel pályázhat egy ezüst minősítésre. [24]

## 2. 7. 2. A sötét égbolt parkok követelményrendszere

Ahhoz, hogy egy terület megkapja a csillagos égbolt park címet, meg kell felelnie az IDA alkalmassági feltételeinek és követelményeinek, amelyeket 5-5 pontban foglal össze.

Az 5 alkalmassági feltétel:

- Bármilyen védett közterület, legyen az park, pusztaság, folyó stb. alkalmas a címre
- Lehetségessé kell tennie az éjszakai látogatást
- Legyenek az éjszakai égbolthoz fűződő kivételes értékei
- A Tejút legyen látható, és a határmagnitúdó min. 5, vagy max. 6-os Bortle osztályú
- 50000 ha-nál nagyobb területű park esetén egy részterület is előterjeszhető

A fontosabb világítástechnikai elvárások az alábbiak:

- Átfogó világítási tervet, világítási leltárt kell készíteni
- A fényforrásoknak teljesen ernyőzöttnek kell lenniük, azaz a fény nem vetülhet a vízszintes sík fölé. Az 1000 lumennél kisebb fényáramú lámpák esetén nem szükséges teljes ernyőzés, de ebben az esetben fel kell mérni a környezeti hatását
- A világítási tervnek tartalmaznia kell, hogy hol és mikor lehet világítani, milyen célú lehet a világítás (közvilágítás, térvilágítás, biztonsági fény, technológiai világítás, irányfény)
- Jelölnie kell a lámpák típusát (higany-, kis- és nagynyomású nátrium-, fémhalogén lámpa, kompakt fénycső, hagyományos izzó)
- Minden szempontból meg kell felelniük a jelenkori szabályozásoknak (irányelveknek, rendeleteknek) [24]

A világítási szabályok a Hortobágyi Nemzeti Park kis háttérfényű zónái (KHZ) esetén:

- A világító szerelvényenkénti legnagyobb megengedett fényáram 1800 lumen
- A 10000 lumen fényáram feletti ingatlan vagy épület külön világítási tervet igényel
- Ritka forgalmú helyeken mozgásérzékelőt vagy időkapcsolót kell használni a lámpatesthez [19]

Az éjszakai ég iránti elkötelezettség mutatói:

- A park elismeri az éjszakai égbolt természeti, kulturális vagy tájképi értékeit
- A park területein lévő lámpatestek 100%-a, és az összes kültéri lámpatestek kétharmada (a park lámpáival együtt) meg kell feleljen az ajánlásoknak
- A park irányt kell mutasson a sötét eget védelmében. Ez történhet egy szabadon látogatható éjszakai éghez fűződő projekt létrehozásával, 2 éjszakai ég megőrzésében

érdekelt külső partner vagy önkormányzat bevonásával, nyilvánosság számára hozzáférhető világítási leltár és monitoring készítésével, vagy ezek kombinációjával.

Bizonyos esetekben az IDA ennél szigorúbb követelményrendszert is felállíthat. Az égbolt abszolút minőségét arany, ezüst illetve bronz fokozatokban adják meg. A bronz fokozat alsó határa egyúttal a sötét égbolt park minősítés alsó határa.

A sötét égbolt parkokat létesítésük után az IDA kb. 5 évenként ellenőrzi. Amennyiben kérdésessé válna a cím jogossága, az IDA további intézkedések megtételére szólítja fel a parkot.

**2. Táblázat - Az IDA minősítési rendszere**

	<b>Arany</b>	<b>Ezüst</b>	<b>bronz</b>
<b>Elgondolás</b>	a fényszennyezés hatása kicsi vagy elenyésző, kiváló minőségű éjszakai éggel és éjszakai tájjal rendelkezik	a fénynek vannak kisebb zavaró hatásai, de jó éjszakai éggel és értékes éjszakai tájjal rendelkezik	a terület nem éri el az ezüst szintjét, de az állatok és növények számára kedvezőbb feltételeket biztosít
<b>mesterséges fény, égfénylés</b>	nincsenek zavaró fényforrások, a fénykupola halvány és a horizont közelében marad	a pontszerű fényforrások és fénylések nem dominálnak, a fénykupola nem húzódik a zenitig	erősebb mesterséges fénylés, mint az ezüsthöz, de az éjszakai ég aspektusai még láthatóak
<b>határmagnitúdó (felhőtlen ég, kedvező körülmények esetén)</b>	6,8 vagy nagyobb	6,0-6,7	5,0-5,9
<b>Bortle-osztály</b>	1-3	3-5	5-6
<b>Nemzetközi Csillagászati Unió meghatározása</b>	szennyezésmentes ég, kevesebb, mint 10% mesterséges fény 45°-os szögben	Kevésbé fényszennyezett ég (kicsi-közepes hatás)	Kevésbé fényszennyezett ég (kicsi-közepes hatás)
<b>Schaaf-osztály</b>	7+	4-7	3-4
<b>Megfigyelhető égi jelenségek</b>	Auróra, természetes égfénylés, Tejút, állatövi fény, halvány meteorok	A fényesebb égi jelenségeket gyakran, a halványabbakat ritkán látni	Több égi jelenség nem látható, a Tejút és az Androméda-galaxis halványan kivehető

### 2. 7. 3. A sötét égbolt park létesítésének előnyei

Ha az IDA elfogadja a sötét égbolt park előterjesztését, akkor a park jogosult használni az IDSP logót a publikációiban és hirdetési célzattal. Az IDA weboldalán minden sötét égbolt parkot feltüntet, és kölcsönös együttműködési megállapodást kötnek a park igazgatóságával. [24]

A Hortobágyi Nemzeti Park a természetes állapotok visszaállításával egyrészt védi azokat a taxonokat, amelyek érzékenyek a fényszennyezés jelentette ökológiai hatásokra, különös tekintettel a védett, éjszakai vonuló madarakra, lepkékre és más ízeltlábúakra. Továbbá az égi látványosságok, mint például az állatövi fény, a Tejút, vagy a hullócsillagok kedvező körülmények közti megfigyelése vonzó célpont lehet a turisták számára. Azonban nem csak az égbolt látványában célszerű gondolkodni; népszerűek lehetnek a Hortobágy éjszakai arcátját bemutató természetjáró túrák. Azáltal pedig, hogy

éjszakai kirándulásokra eljönnek, napközben felfedezhetik maguknak az őket vendégül látó települések egyéb, rejtett értékeit is.

## **2. 8. A fényszennyezés jogi szabályozása**

### **2. 8. 1. Jogi szabályozás külföldön**

Az első fényszennyezéssel kapcsolatos rendeletet az Egyesült Államok-beli Tucsonban hozták meg 1986-ban azzal a céllal, hogy a közelben található Kitt Peak Nemzeti Obszervatórium munkáját ne nehezítse meg a fényszennyezés. Ezután az 1990-es években egyre több, a fényszennyezés különböző problémáira koncentrálnak a rendelkezés született.

A tucsoni rendeletben két körzetet jelöltek ki; az Obszervatóriumtól 35 mérföldes távolságon belül egy szigorúbb szabályokat előíró „A” és egy ettől távolabbi „B” körzetet. Megköveteli a lámpatestek ernyőzését, vagyis annak megakadályozását, hogy a fény felfelé terjedhessen, és támogatja a kisnyomású nátriumlámpák használatát. Tiltja a nagynyomású higanylámpák telepítését és használatát, valamint tíz óra után nagy intenzitású fényforrás fényét a horizont felé emelni a „B” körzetben is tilos. Szigorúan szabályozza a reklámvilágítást és a szórakoztató világítást is, így például a szabadterei rendezvényeknek fél 11 előtt be kell fejeződniük.

Az Egyesült Államokban keletkezett a legtöbb helyi rendelet a témában (pl. Hailey, Ames stb.). Ezekben többek között megszabják, hogy az 1800 lumennél nagyobb fényáramú fényforrásokat ernyőzni szükséges. Az első egész országra kiterjedő törvényt Csehországban hozták (Levegőtisztasági törvény) a Lombardiai törvény mintájára 2002-ben. Ebben a fényszennyezés definíciója: „a fényszennyezés a mesterséges fényforrásokból származó bármely fény, amely kívül jut azon a területen, amelyre szánták, különösen az a fény, amely a horizont síkja felé irányul.” A törvény kijelenti, hogy csak azok a fényforrások nem számítanak szennyezőnek, amelyek nem világítanak a horizont felé, az elérhető legjobb technológiát használják, és ahol a megvilágított felület fényessége nem lépi át az 1 cd/m<sup>2</sup>-t. Megtiltja a felfelé irányuló épületvilágítást, fényárvilágítást. Különleges védelemben részesíti a csillagvizsgálók környékét és az egyes önkormányzatok által meghatározott területeket. Védett területeken pedig a meglévő, nem szabályos fényforrásokat is kicserélésre kötelezte. [2] [25]

### **2. 8. 2. Jogi szabályozás Magyarországon**

Magyarországon a Magyar Világítástechnikai Társaság is a cseh törvény definícióját ajánlja, azzal a kiegészítéssel, hogy „fényszennyezésnek tekinthető az a megvilágítás is, amely az adott feladathoz szükséges világítási szinteket, szükséges értékeket többszörösen meghaladja.

Magyarországon az első, a fényszennyezésre vonatkozó rendelet a Komárom-Esztergom megyei Dág község önkormányzati rendelete volt. Az éjszakai égboltra, mint kulturális örökségre hivatkozva szabályozza a kültéri világítást a világítás időtartamára, irányára, a lámpatest típusára vonatkozóan, továbbá megtiltja a vetítők és lézerek reklámozás és szórakoztatás céljából történő alkalmazását. Minden újabb kültéri világító forrás csak engedélyezési eljárás útján valósulhat meg. [26] Az egyetlen országos szintű szabályozást az 1996-os természet védelméről szóló LIII. törvényt leváltó 2008. évi XCI.

Törvény jelenti, melynek 19. paragrafusa foglalkozik a fényszennyezés kérdéssel, ám fogalmát nem definiálja, és ebből kifolyólag a szabályozás nehézkes. [16]

### **3. A Hortobágyi Nemzeti Park, mint sötét égbolt park**

Az I. Magyarországi Fényszennyezési Konferenciát Debrecenben tartották 2004-ben. Már a kezdetektől fogva tudni lehetett, hogy a Zselici Tájvédelmi Körzet mellett a Hortobágyi Nemzeti Park a leginkább alkalmas terület egy ilyen projekt elindítására, hiszen a Hortobágy Magyarország egyik legalacsonyabb népsűrűségű területe. A II. Konferencián bejelentették a Zselici Csillagoség-park megalakítását, mely végül 2009-ben lett hivatalosan is elismert sötét égbolt park. Ezen intézkedések jelentőségei egyebek között, hogy némiképp gyorsították a fényszennyezés jogi szabályozását, és 2008-ban a Természetvédelmi Törvénybe bekerülhetett egy erről szóló paragrafus. Azonban továbbra sincs egy átfogó, egész országra kiterjedő rendelet. A Hortobágyi Sötét Égbolt Park igazi érdeme az lehetne, ha példamutatásával meghozná az áttörő lökést ennek a kevésbé ismert ökológiai problémának a szabályozásában.

2010. szeptember 4.-én a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatósága is elküldte felterjesztési anyagát az International Dark-Sky Association-nek. Amennyiben pozitív döntés születik, 2011-ben a kijelölt hortobágyi terület is megkaphatja a sötét égbolt park címet.

#### **3. 1. A sötét égbolt park megvalósítási ütemei**

Az éjszakai égbolt minősége általánosságban az egész park területén eléri az IDA ezüst minősítést. Azonban számos kisebb tanya, állattartó telep található itt. A telepek körüli 500 m-es körzetben ún. kis háttérfényességű zónák (KHZ) vannak. A park többi területe természetes égboltú zónának (TÉZ) tekinthető.

A sötét égbolt park megvalósításának legkomolyabb akadálya, hogy ezeken a telepeken a fényforrások nem korszerűek, és sok esetben nem is ernaözöttek. Márpedig az összes kültéri lámpatestek kétharmadának meg kell felelnie az előírásoknak – jelenleg ezzel szemben a meglévő lámpatestek kétharmada nem felel meg. A világítótestek korszerűsítése pedig csupán egy többéves program keretében valósítható meg.

Emiatt a sötét égbolt park megvalósítása két ütemben fog történni. Először egy 10000 hektáros, fejlettebb infrastruktúrával rendelkező területet terjesztettek fel, majd néhány év múlva az egész nemzeti park területén megvalósíthatóvá válik.

#### **3. 2. Világítási terv**

A világítási terv rendeltetése, hogy szabályozza a kültéri világítást és útmutatóként szolgáljon.

A kis háttérfényességű zónák kivételével állandó kültéri fényforrások használata tilos, kivéve különleges esetekben az építkezési munkálatok során. Ideiglenes fényforrások közül kizárólag a gépjárművek fénye és a veszélyhelyzet esetén használatos fények engedélyezettek. A KHZ-k területén is legfeljebb a gyalogos utak és parkolók kivilágítására használhatóak. Ezeknek a kültéri fényforrásoknak pedig további előírásokat kell teljesíteniük. Csak teljesen ernaözött világítótestek használhatóak, melyeknek fényárama nem haladhatja meg az 1800 lument. 10000 lumen feletti létesítményekhez világítási tervet kell készíteni. Gyér forgalom esetén időkapcsolót célszerű alkalmazni, és általánosságban a kisnyomású nátriumlámpa használata javasolt.

### **3. 3. Együttműködési szerződések**

Az IDA követelményrendszerének egyik feltételeként a Hortobágyi Nemzeti Park az alábbi külső partnerekkel kötött megállapodást:

- Magnitúdó Csillagászati Egyesület Debrecen (MACSED)
- Dél-Balatoni Természetvédelmi Egyesület
- Dél-Nyírség Bihari Tájvédelmi és Kulturális Értékőrző Egyesület (DNyBTE)
- Hortobágyi Halgazdaság Zrt. (HHG)
- Hortobágyi Természetvédelmi és Génmegőrző Nonprofit Kft.

## 4. Világítási leltár készítése

A fényszennyezés elleni hatékony törekvések érdekében, valamint hogy a Hortobágyi Nemzeti Parkot fel lehessen terjeszteni az IDA számára, szükségessé vált egy átfogó világítási leltár készítése a leendő sötét égbolt park területéről.

A leltárnak tartalmaznia kell a területen található összes kültéri fényforrást az alábbi adatokkal:

- a világítást alkalmazó telephelyek neve, GPS-koordinátái
- világítótest helye a telepen belül
- a lámpatest és a fényforrás típusa, teljesítménye
- ernyőzöttsége
- a világítás célja
- megfelel-e a világítási előírásnak
- nappali kép vagy műszaki rajz a lámpastról

Ezek a felméréndő adatokat az IDA Kültéri Világítási Kézikönyve határozta meg, így a világítási leltár felépítése hasonlatos a többi sötét égbolt parkéhoz.

2009-ben a Hortobágyi Nemzeti Parkban a Corvinus Egyetem Tájvédelmi- és Tájrehabilitációs Tanszék négy hallgatója – két doktorandusz vezetésével – már összesítették a lámpatesteket. Azonban egy év elteltével változások álltak be, ezért a nemzeti park sötét égbolt parkká való felterjesztése előtt célszerű volt néhány ilyen létesítmény ismételt bejárása és az adatok újrafelvétele, korrigálása.

### 4. 1. Felméréndő adatok

A felméréskor öt, Hortobágyhoz közeli létesítményt mértem fel. Ezeket az 5. ábrán látható térképen az alábbi pontok jelzik:

- 11. – Hortobágyi hídikutrica
- 12. – Pusztai állatpark
- 14. – Mátai Erdei Iskola
- 16. – Kungyörgyi marhatelep
- 17. – Kungyörgyi üszőtelep

A felméréskor megállapításra került a lámpatestek funkciója, amelyeket két csoportra bontva számoltam össze. Az 1. csoportban foglaltatott a közvilágítást, térvilágítást szolgáló világítótestek. A 2. csoportba a biztonsági fény, irányfény és a technológiai világítás került.

**Közvilágítás:** a közutak biztonságot jelentő mesterséges megvilágítása

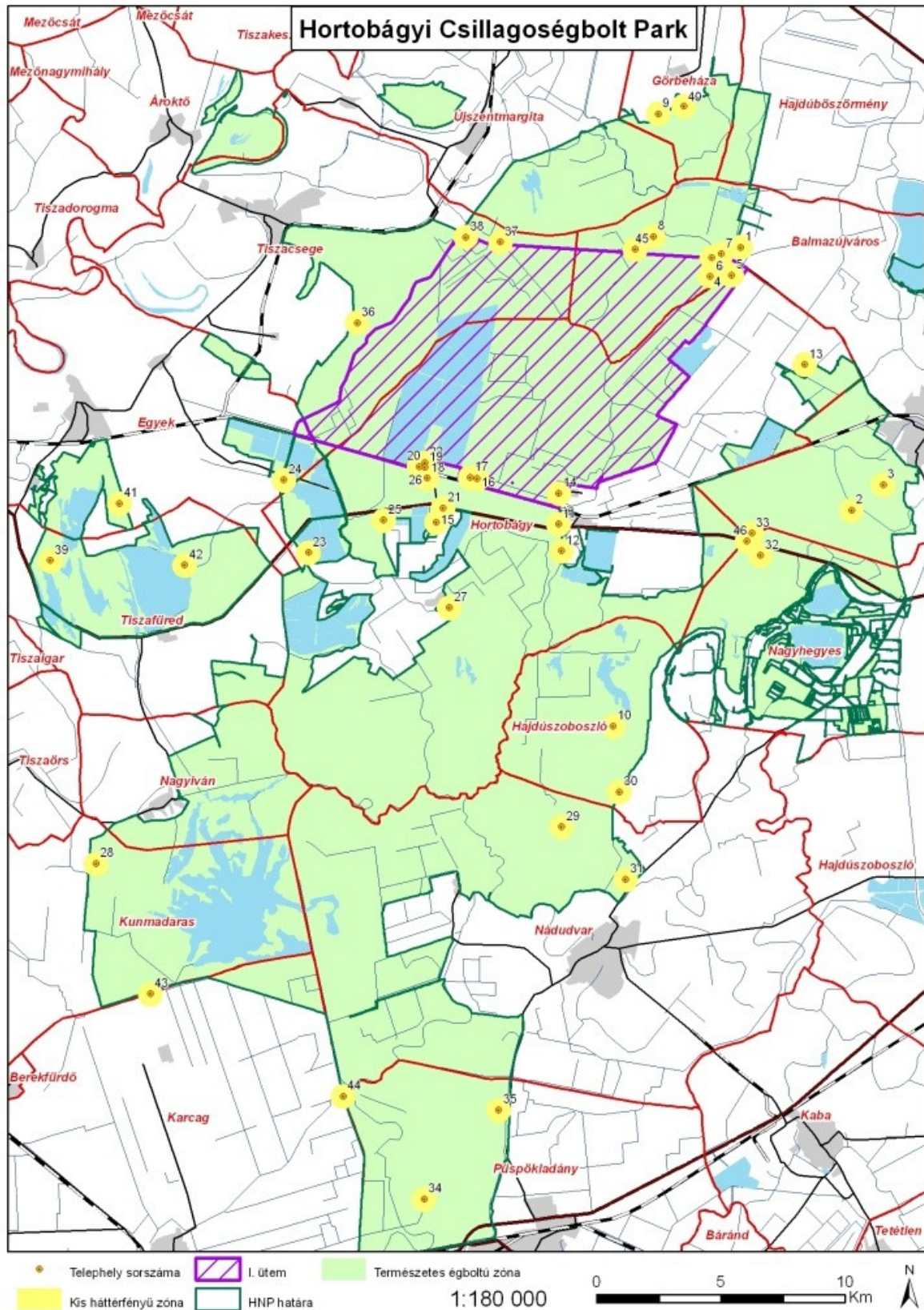
**Térvilágítás:** utcák, sétányok, az épületek homlokzatok és műtárgyak megvilágítása

**Biztonsági fény:** a balesetveszélyes helyzetek megakadályozására, a központi energiaellátás megszűnése esetén működő fényforrás fénye

**Irányfény:** az épületek falán elhelyezkedő, tájékozódást segítő fény

**Technológiai fény:** a technológiai terület megvilágítása

Ezen felül megállapítottam, hogy a lámpatestek ernyőztek-e, illetve amennyiben lehetséges volt, hogy vannak-e közöttük használaton kívüli lámpatestek.



8. ábra - A Hortobágyi Nemzeti Park kis háttérfényességű zónái és a sötét égbolt park I. üteme

## 4. 2. A felmérés eredménye

A világítótestek újraszámolását 2010. június 16.-án végeztem.

A számok az összes lámpatestet mutatják meg, azok működési állapotától függetlenül.

3. Táblázat - világítási leltár

Sorszám	Telephely, koordináta	Település	Lámpatestek száma	A világítás célja *	Ernyőzés **
1.	Hortobágyi hídkutrica É47°34'59" K21°08'35"	Hortobágy	8	8db 1	8 x 1
2.	Pusztai állatpark E807742 N249833	Hortobágy	34	34db 1	10 x 1 24 x 2
3.	Mátai Erdei Iskola E807632 N252148	Hortobágy	36	36db 2	36 x 1 (26)
4.	Kungyörgyi marhatelep É47°36'03,5" K21°06'00,4"	Hortobágy	17	5db 1 12db 2	11 x 1 6 x 2
5.	Kungyörgyi üszőtelep É47°36'03,5" K21°05'47,2"	Hortobágy	14	9db 1 5db 2	5 x 1 9 x 2

Jelmagyarázat:

\* 1 – közvilágítás, térvilágítás 2 – biztonsági fény, irányfény, technológiai világítás

\*\* 1 – ernyőzött 2 – nem ernyőzött ( ) használaton kívüli lámpatest

## 4. 3. Észrevételek

### Hortobágyi hídkutrica

A lámpatestek számában nem történt változás, azonban a nem megfelelőeket kicserélték, így mostanra mindegyik ernyőzött.



9. ábra - Hídkutrica és az alkalmazott lámpatípus

### Pusztai állatpark

A lámpatestek számában és nincs változás. Megjegyzendő azonban, hogy a lelátó épületen található az ernyőzetlen lámpatestek fele (12 db), és ezek indokolatlanul sűrűn helyezkednek el egymás mellett. A pusztai állatpark még nem esik bele az I. ütembe, de a kétharmad részben árnyékolat lámpatestek elérése könnyebben megvalósítható lehet az itt található árnyékolatlan fényforrások egy részének leszerelésével.



10. ábra - Pusztai állatpark, közepén a lelátó egy speciálisan ernyőzött lámpateste

### Mátai Erdei Iskola

Az iskola külterén elhelyezett 36 lámpatestből több kiégett; jelenleg 10 üzemel. Mivel a még működő lámpatestek egyenletesen helyezkednek el az iskola falain, ezért az fedezi a reális igényeket, és nem volt szükség a tönkrementek lecserélésére.



11. ábra - Fecskeházi Erdei Iskola

### Kungyörgyi marhatelep

Néhány korábbi fényforrás megszűnt. A nádtetőkön elhelyezkedő technológiai világítóforrások árnyékoltak, ám fejük közel 45°-ban helyezkedik el, ezért ezek módosítása lenne szükséges.



12. ábra - Kungyörgyi marhatelep

### Kungyörgyi üszötelep

Az egyik akol hátsó kapuja feletti lámpa leszerelésre került.



**13. ábra - Kungyörgyi üszőtelep**

Emellett az üszőtelep közvetlen környezetében alkalmas volt megfigyelni a védett atalanta-lepke (*Vanessa Atalanta*) néhány egyedét. [27] Bár megkérdőjelezhető, hogy a szabályzatnak nem megfelelő lámpatestek csapdahatása eredményeképp vonultak ide, jelenlétük indokoltá teszi a lepkékre nem veszélyes lámpatestek (ne tudjanak bejutni a burkolat alá, szűk kibocsátott spektrum) alkalmazását.



**14. ábra - Atalanta-lepke a hernyó tápláléknövényével**

## **5. Az éjszakai ég minősége Nádudvartól való távolság függvényében**

### **5. 1. Célkitűzés**

Első mérés célja az volt, hogy felderítsem, körülbelül mekkora hatással van egy hortobágyi település fényszennyezés szempontjából a környező területekre, milyen távolságig érzékelhető a fényterhelése.

Azért esett a választásom Nádudvarra, mert mindössze 1-1,5 km-re helyezkedik el a nemzeti park telekhatárától, ezért elképzelhetőnek tartottam, hogy az ezüst minősítéshez megkívánt 21 mag/arcsec<sup>2</sup>-nél nagyobb égfénylést tapasztalok. Továbbá azért is ennek a településnek a környezetében voltak a legkedvezőbbek a feltételek a vizsgálathoz, ugyanis itt olyan útszakaszok találhatóak, amelyek közelítőleg egyenesnek mondhatók, így az ugyanabból az irányból érkező mesterséges fény hatását vizsgálhattam a teljes mérési folyamat alatt.

### **5. 2. Alkalmazott módszerek**

A mérés során egy 11 pontból álló vonaltranszektet alkalmaztam, amelynek pontjait egymástól nagyjából 1 km-es úttávolságra vettem fel. A mérés kezdőpontjának a város határában lévő, Balmazújváros felé vezető Rákóczi Ferenc utcai hidat választottam. Az egyes pontokon történő mérésekkor feljegyeztem a pont északi szélességi és keleti hosszúsági fokát GPS berendezés segítségével, valamint a mérés időpontját.

A fénysűrűség méréséhez Unihedron SQM mérőműszert alkalmaztam. A készüléket a zenit felé tartva a transzekt minden pontjánál három értéket rögzítettem, amelyeknek a számtani átlagát véve határoztam meg a fénysűrűség mag/arcsec<sup>2</sup> szerinti értékét. A mérés során ügyeltem arra, hogy a fák ne árnyékoljanak, ugyanakkor egyetlen esetben két egymáshoz közeli pontot vettem fel – egyiket az út kétoldalán álló fák takarásában, egyet pedig nélküle – hogy megállapítsam, hogy a fák lombjai mennyire képesek mérsékelni a mesterséges fények hatását.

Az út városhoz közeli szakasza még nem volt egyenes, ennek következtében a 3.-nak kijelölt mérési pont kb. fél kilométerrel távolabb van Nádudvartól, mint a 4. pont.

### **5. 3. Mérési körülmények**

A mérésre 2010. augusztus 10.-én került sor. Mivel a mérési eredményt a Nap és a Hold befolyásolná, ezért nap- és holdnyugta táblázatból meg kell határozni, mikor nyugszanak le. A befolyásolás megszűnte – a csillagászati szürkület – ezen két égitest lenyugvása után egy órával kezdődik el. Továbbá mivel a magyarországi táblázatban szereplő értéket a 19° hosszúsági körre (Budapesthez) adják meg, ezért minden +1°-ért korrigálni kell 4 perccel. Így tehát a mérést 20:52-kor lehetett elkezdeni, és 4:26 után nem lehet tovább folytatni.

A mérés teljes ideje alatt a felhőzettség minimális volt. A hőmérséklet a [www.idokep.hu](http://www.idokep.hu) meteorológiai archívuma szerint 20 °C volt.

## 5. 4. Eredmények

A mérések helyét műholdas térképen ábrázoltam. A mért és átlagolt eredményeket táblázatban rögzítettem.

4. Táblázat - Az első SQM mérés eredményei

Sorszám	Időpont	Északi szélesség	Keleti hosszúság	Mért érték (mag/arcsec <sup>2</sup> )			
				Átlag	1. érték	2. érték	3. érték
1	22:15	47° 26,718'	21° 10,203'	20,51	20,70	20,21	20,63
2	22:23	47° 27,182'	21° 10,691'	21,26	21,16	21,31	21,32
3	22:32	47° 27,828'	21° 10,628'	21,38	21,37	21,36	21,40
4	22:37	47° 27,645'	21° 10,332'	21,38	21,39	21,39	21,37
5	22:46	47° 28,243'	21° 10,038'	21,45	21,43	21,42	21,49
6	22:52	47° 28,212'	21° 10,066'	21,42	21,42	21,42	21,43
7	22:59	47° 29,268'	21° 10,452'	21,42	21,42	21,43	21,41
8	23:05	47° 29,764'	21° 10,901'	21,44	21,42	21,44	21,45
9	23:12	47° 30,214'	21° 11,207'	21,41	21,40	21,42	21,42
10	23:21	47° 30,769'	21° 11,050'	21,41	21,41	21,42	21,39
11	23:28	47° 30,822'	21° 10,846'	21,41	21,44	21,42	21,37



15. ábra - Az első SQM mérés transzektjének pontjai [28]

## 5. 5. Értékelés

Az eredményekből kivehető, hogy az eredeti feltételezéssel ellentétben Nádudvartól már 1 km-es távolság után is jóval 21 mag/arcsec<sup>2</sup> feletti értéket mértem. Bár méréseket a településtől más irányba távolodva nem végeztem, valószínűsíthető, hogy mivel más égtájak felé a Hortobágyi Nemzeti Park területe még távolabbra esik Nádudvartól, ezért az nem okozója a park éjszakai egének egy alacsonyabb minőségi osztályba kerülésének.

2 km-es távolság megtétele után (3.-11. pont) a városok közelében jellemző kiugró értékek, mérési bizonytalanságok megszűnnek, az átlagtól történő eltérés mindenhol kisebb marad, mint 0,05 mag/arcsec<sup>2</sup>.

Az 5. és 6. ponton azt vizsgáltam, hogy az utat övező fák mennyiben módosíthatják az eredményeket. Az 5. pontot úgy vettem fel, hogy mindkét oldalon több fa szegélyezze az utat, míg a 6. pontot egy nyílt részen, minden fától kb. 50 m távolságra. Azonban igazolást nyert, hogy ez az eltérés az átlagolt eredményben minimális (0,03 mag/arcsec<sup>2</sup>), és csupán egyetlen, némileg sötétebb eget mutató adat okozza, és azt a kis kilengést is okozhatta valamilyen más behatás. Így tehát nagy biztonsággal kijelenthető, hogy az a tény, hogy az adatok felvételét nem a kiépített útról letérve, hanem végig annak mentén haladva végeztem nem befolyásolta érdemben az eredményeket.

A fák közelében lévő mérést nem számítva a legsötétebb eget jelentő adatot a 8. pontnál rögzítettem (21,44 mag/arcsec<sup>2</sup>), majd ezután visszaesett (21,41 mag/arcsec<sup>2</sup>). Ennek vélhetően az az oka, hogy a pontok bár egyre távolabbra kerültek Nádudvartól, de megjelent Hortobágy település hatása.

## 6. A fényszennyezés megoszlása a települések között

### 6. 1. Célkitűzés

Ezen számításom során a céloom az volt, hogy a Hortobágyi Nemzeti Park az előző mérés során fellelt legkisebb égfénylésű pontjára vonatkoztatva felbecsüljem a nemzeti park területén található, az IDA követelményrendszerének még nem megfelelő telepek, illetve a környező települések által okozott mesterséges égfénylés részarányát. Ebből ugyanis kiderülne, hol érdemes a fényterhelést csökkenteni annak érdekében, hogy a sötét égbolt állapota még kedvezőbb lehessen, a csillagok pedig még nagyobb számban legyenek láthatóak, pl. a leendő csillagtúrázók számára.

### 6. 2. A Walker-törvény

1973-ban Merle Walker felállított egy tapasztalaton alapuló törvényszerűséget, amellyel megbecsülhető egy adott településről származó égfénylés mértéke. E szerint az égfénylés 45°-os szögben egyenesen arányos a távolsággal és fordítottan arányos 2,5-edik hatványon a település lakosságával.

$$I = C \cdot P \cdot r^{(-n)}$$

#### 3. Egyenlet - A Walker-törvény

Az egyenletben I a település által okozott mesterséges fénylés részaránya a természetes égfényléshez képest százalékban kifejezve, P a település népessége, r pedig a távolság a megfigyelési hely és a település között, C és n pedig változók.

A módszer problémája, hogy ez az egyenlet csak 10 és 50 km közötti távolságokra ad jó közelítést; ilyenkor  $C=0,01$  és  $n=2,5$ . Később Dr. Roy Garstang is foglalkozott a témával, és 1991-ben egy munkájában 10 km-nél közelebbi települések vizsgálatához meghatározta a változók értékét, mely szerint  $C=0,000632$  és  $n=1,4281$ . Azóta a hatástanulmányokban rendszerint ezekkel az értékekkel számolnak ennek meghatározására. [30]

A törvény egy másik jellemző tulajdonsága, hogy a legkedvezőtlenebb körülményekre adja meg becslését; elképzelhető tehát, hogy a kapott eredményhez képest kisebb a részesedés mértéke. [29]

A Walker-törvény alkalmazható telepekre és ipari létesítményekre is. Ugyanis a törvény egy lényeges alappillére, hogy kollerációt állít fel a fénysűrűség és a lakosok száma között. Ezért ezzel a módszerrel úgy lehet meghatározni telepek kültéri világításának hatásait, hogy a telep teljes fényáramát lakosoknak megfelelően modellezünk egy várost.

$$P = \frac{\text{összes\_lumen} \cdot LLF}{\text{lumen/lakos}}$$

#### 4. Egyenlet – Modellezett város lakosságának kiszámítása [30]

A 4. képletben a P a népesség, az LLF pedig a fényvesztési faktor, amely figyelembe veszi a világítótestek időbeli gyengülését. Ezt régi telepeknél kell alkalmazni, értéke  $LLF=0,75$ . Új világítótestek esetén az LLF értéke 1. A lumen/lakos a városok egy jellemző tulajdonsága, értéke 500-1000 lumen között mozoghat attól függően, hogy a környező, a felméréskor vizsgált városokban mi a jellemző érték. Ezt az értéket 750-nek vettem fel. Az összes\_lumen pedig a telep által kibocsátott teljes zavaró fényáram. Ennek értékét a világítási leltár, a lámpatestek tulajdonságai és a tükröződő felületek figyelembevételével, sok számítással és méréssel lehetne meghatározni, amelyetől eltekintettem, és közelítésképpen az ismert teljesítményű és típusú, ernyőzetlen fényforrások fényáramának felét vettem figyelembe.

### **6. 3. A számítás lépései**

A Walker-törvény Garstang kiegészítésével 0-tól 50 km-ig használható. A mérhető fényterhelésű városok és telepek meghatározásához térképen a megadott pontban egy 10 és egy 50 km-es sugarú kört vettem fel. A két körön belüli jelentősebb lélekszámú településeket a 13. ábrán lehet megtekinteni.

A számítás során nem volt céлом minden, esetenként jelentéktelen hatással bíró települést figyelembe venni, csupán egy közelítő képet akartam nyerni az égbolt állapotáról. Ezért telepek közül csupán a 10 km-es sugarú körön belülieket összesítettem.

A méréshez felhasznált településeket táblázatba foglaltam, és meghatároztam a szükséges adatokat; a települések népességét a Központi Statisztikai Hivatal magyar helységnevtárának 2009-es adatai alapján vettem fel, a települések és a megfigyelési pont közötti távolságot pedig a térképről olvastam le és határoztam meg 0,5 km-es pontossággal.

A növényborítás esetleges fénylést kitakaró hatásától eltekintettem.

A meghatározott adatokból a természetes háttér növekedését kiszámoltam  $45^\circ$ -os szögre és a zenit irányába tekintve is. A zenit irányában a növekedés közelítőleg negyede a kapott I értéknek.

A telepek fényáramának számításához a 2009-es világítási leltárt, valamint saját számlálásomat felhasználva összeírtam első lépésként a nem megfelelően árnyékolat lámpatestek típusait és teljesítményeit.

**Sőrehát juhtelep:** 6 db 125 W-os EKA higanylámpa, 1 db 60-100 W-os izzó

**Angyalháza pulykatelep:** 9 db 150-300 W-os fénycső, 14 db 70 W-os Z1N higanylámpa

**Angyalházi juhtelep:** 1 db 100 W-os fénycső, 1 db 150 W-os izzó, 24 db 150-300 W-os fénycső

**Pusztai állatpark:** 8 db 60 W-os izzó (a többi ernyőzetlen lámpát az épületek árnyékolják)

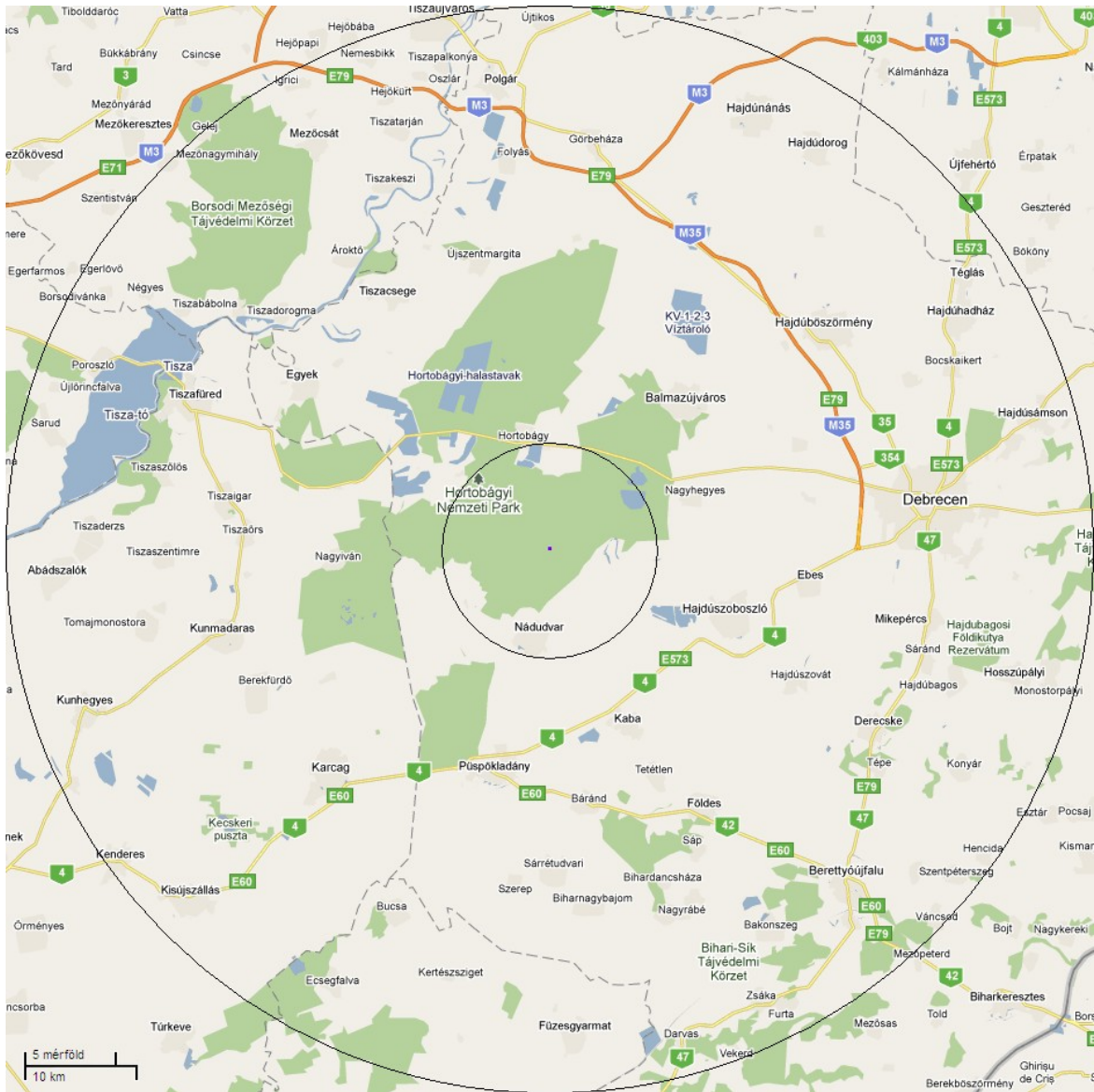
Ezután megadtam ezen lámpatestek becsült fényteljesítményét:

**Izzólámpa:** 25 lm/W

**Fénycső:** 50 lm/W

**Higanylámpa:** 50 lm/W

Majd összesítettem az egyes telepek fényáramát, aminek a felét tekintettem az okozott fényterhelésnek. Ahol a leltárban tartományban került megadásra a fényforrás teljesítménye, ott számtani átlagot vettem.



16. ábra - Települések a vizsgált pont 10 és 50 km-es körzetében [28]

**Sőrehát juhtelep:**

$$\text{össz}l_{m_1} = \frac{6 \cdot 125W \cdot 50\text{lm}/W + 1 \cdot \frac{60W + 100W}{2} \cdot 25\text{lm}/W}{2} = 19750\text{lm}$$

**Angyalháza pulykatelep:**

$$\text{össz}l_{m_2} = \frac{14 \cdot 70W \cdot 50\text{lm}/W + 9 \cdot \frac{150W + 300W}{2} \cdot 50\text{lm}/W}{2} = 75125\text{lm}$$

**Angyalházi juhtelep:**

$$\text{összlm}_3 = \frac{100\text{W} \cdot 50\text{lm/W} + 150\text{W} \cdot 25\text{lm/W} + 24 \cdot \frac{150\text{W} + 300\text{W}}{2} \cdot 50\text{lm/W}}{2} = 139375\text{lm}$$

**Pusztai állatpark:**

$$\text{összlm}_4 = \frac{8 \cdot 60\text{W} \cdot 25\text{lm/W}}{2} = 6000\text{lm}$$

A fénysűrűség ismeretében felállítható egy városmodell a telepekre. LLF értékét a lámpatestek felszerelésének időpontjának ismerete híján 1-nek határoztam meg, a lumen/lakos értékét pedig 750-nek vettem. Így a fénysűrűségeket lumen/lakossal elosztva a népességek:

**Sőrehát juhtelep: 26 fő**

**Angyalháza pulykatelep: 100 fő**

**Angyalházi juhtelep: 186 fő**

**Pusztai Állatpark: 8 fő**

Az adatokat végül táblázatban összesítettem.

**5. Táblázat - A települések háttérnövelő hatása**

város / telep	népesség [P] (fő)	távolság [r] (km)	a természetes háttér növekedése [ $I_{45^\circ}$ ] (%)	a természetes háttér növekedése [ $I_{zenit}$ ] (%)
városok és telepek 10 km-en belül (C=0,000632 n=1,4281)				
Nádudvar	8995	7,5	0,319921	0,079980
Angyalháza pulykatelep	100	1,5	0,035419	0,008855
Sőrehát juhtelep	186	5,5	0,010302	0,002575
Angyalházi juhtelep	26	1,5	0,009209	0,002302
Mihályhalma	6	9	0,000164	0,000041
Pusztai Állatpark	8	8,5	0,000238	0,000059
városok és telepek 10 és 50 km között (C=0,01 n=2,5)				
Debrecen	206225	33	0,329653	0,082413
Hajdúszoboszló	23296	16	0,227500	0,056875
Balmazújváros	17575	17,5	0,137183	0,034296
Hajdúböszörmény	31793	31	0,059419	0,014855
Karcag	20872	27,5	0,052630	0,013157
Kaba	6087	17	0,051084	0,012771
Hortobágy	1553	10	0,049110	0,012278
Nagyhegyes	2752	13	0,045164	0,011291
Ebes	4407	23,5	0,016462	0,004115
Berettyóújfalu	15427	40	0,015245	0,003811
Derecske	9116	33	0,014572	0,003643
Egyek	5071	26,5	0,014027	0,003507
Hajdúnánás	17498	43,5	0,014021	0,003505

város / telep	népesség [P] (fő)	távolság [r] (km)	a természetes háttér növekedése [I 45°] (%)	a természetes háttér növekedése [I zenit] (%)
városok és telepek 10 és 50 km között (C=0,01 n=2,5)				
Tizacsege	4705	26,5	0,013015	0,003254
Kunmadaras	5507	29,5	0,011651	0,002913
Földes	4092	26,5	0,011319	0,002830
Hajdúhadház	12650	43	0,010433	0,002608
Báránd	2624	23	0,010343	0,002586
Tiszaújváros	16641	49	0,009901	0,002475
Hajdúszovát	3087	25	0,009878	0,002470
Hajdúsámson	12846	46	0,008951	0,002238
Nagyiván	1168	19	0,007423	0,001856
Hajdúdorog	9070	43,5	0,007267	0,001817
Polgár	8133	42,5	0,006907	0,001727
Sárrétudvari	2870	28,5	0,006619	0,001655
Tetétlen	1397	22,5	0,005818	0,001454
Szásztelek	194	11	0,004834	0,001209
Újszentmargita	1442	26,5	0,003989	0,000997
Tiszaörs	1291	27,5	0,003255	0,000814
Szerep	1604	30,5	0,003122	0,000781
Bucsa	2251	35	0,003106	0,000777
Görbeháza	2463	37	0,002958	0,000739
Berekfürdő	956	28,5	0,002205	0,000551
Sáp	980	30	0,001988	0,000497
Ároktő	1128	32	0,001947	0,000487
Tiszatarján	1433	40	0,001416	0,000354
Bihartorda	905	34	0,001343	0,000336
Tizadorogma	389	32	0,000672	0,000168
Folyás	352	35,5	0,000469	0,000117
Aranyszeg	31	14,5	0,000387	0,000097
Bihardancsháza	193	32	0,000333	0,000083

## 6. 4. Értékelés

Összesítve a háttérnövekedéseket azt kaptam, hogy a teljes növekedés 45°-os szögben az égre tekintve, a természetes háttérhez képest 155,28%, a zenit irányában történő növekedés pedig 38,82%. Narisada és Schreuder tapasztalati táblázatai alapján az égbolt fényességének 40%-os növekedése kb. 21,2 mag/arcsec<sup>2</sup> értéknek feleltethető meg. [30] Az általam a helyszínen mért 21,44 mag/arcsec<sup>2</sup> és ezen becsült eredmény közötti 0,24 mag/arcsec<sup>2</sup>-es különbségnek több magyarázata lehet. Ilyen a Walker-törvény korábban említett tulajdonsága, hogy kedvezőtlenebb viszonyokra ad becslést, illetve nagyobb fényáramú városokkal számol (pl. Nádudvar esetén lehet számottevő a különbség).

Ezen eltérést leszámítva a táblázat jó képet ad a Hortobágyi Nemzeti Park egét érő fénylés eredetéről. Látható, hogy a park területéről, illetőleg 10 km-es közelségből érkező fény csupán töredéke, 20,62%-a a teljes háttérnövekedésnek, ami a valóságban feltehetőleg még kevesebb, hiszen Nádudvar hatása feltételezhetően túl lett becsülve. Szintén figyelemreméltó, hogy az öt legnagyobb fényterhelést jelentő városból négy (Debrecen, Hajdúszoboszló, Balmazújváros, Hajdúböszörmény) az észlelés helyétől keletre helyezkedik el, és tőlük származik a háttérfényesség közel fele, 48,55%. Ezzel szemben a

három közeli telep és az állatpark együttesen is csak 1,38%-át teszi ki az összes mennyiségnek.

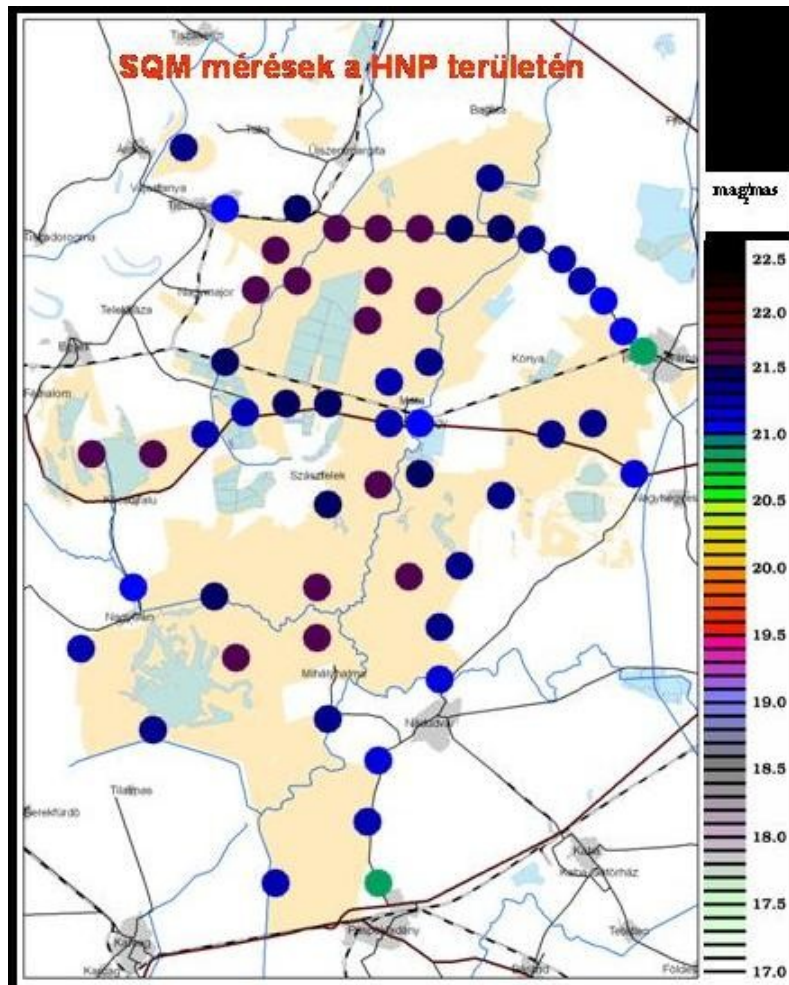
Ezek az adatok egyértelműen mutatják, hogy a sötét égbolt park megőrzésének feladata hosszú távon nem korlátozódhat kizárólagosan a park területén belül végrehajtott javító intézkedésekre. Am jelenleg jogi szabályozás nélkül a feladat megoldhatatlan, hiszen jelenleg csak a természetvédelmi területeken belüli fényforrásokról rendelkezik a törvény. Remélhetőleg a közeljövőben a sötét égbolt park cím megszerzésével áttörés érhető el ilyen téren, vagyis legalább az ilyen parkok közelében lévő települések szabályozás alá kerülnek a probléma súlyának felismerésével.

## 7. Az éjszakai ég minősége a Hortobágyi Halastavak területén

### 7. 1. Célkitűzés

A mérés célom az volt, hogy részletesen feltérképezzem egy Hortobágyi Nemzeti Park területén található gazdasági létesítmény éjszakai égboltra gyakorolt hatását az attól való távolság függvényében.

A Hortobágyi Halastavak jelenleg a Hortobágyi Halgazdaság Zrt. tulajdonában vannak. A telep területén található fényforrások a korábbi világítási leltárakból már ismert volt; a jelenleg itt található 54 lámpatestből 46 árnyékolt és csak 8 árnyékolatlan. Azonban ezen lámpák nagy száma miatt, melyből sok egész éjszaka működik biztonsági okokból, érdemessé tette a környezetében az ég fénylésének megvizsgálását, azaz kisebb-e az ezüst minősítést jelentő 21 mag/arcsec<sup>2</sup> értéknél. Emellett fontos hangsúlyozni, hogy a minőség megőrzése egy ilyen élőhely szomszédságában kritikus, hiszen a fény zavarhatja a madarakat és vonzhatja a vízi rovarokat, kételtűeket. Eleddig a Halastavak területén SQM-mérés nem történt (ld. 17. ábra)



17. ábra - Korábbi SQM mérések a HNP területén [19]

## 7. 2. Alkalmazott módszerek

Az alkalmazott módszerek hasonlatosak az 5. 2. pontban foglaltakhoz. Unihedron SQM műszert használtam, és hogy hitelesebb képet kapjak a telep hatásáról, ezúttal két, rövidebb (1,5 km-es) transzektet vettem fel; az egyik észak-északkelet irányban halad végig a halastavak közötti szakaszon, a másik kelet-délkelet irányban, a keleti tó partja mentén, a vasútvonallal párhuzamosan. Ennek jelentősége, hogy ezáltal azon fények hatása, amiket pl. egy épület az egyik irányból leárnyékol, a másikban kimutatható lesz.

A transzektnek első két pontja közös (lilával jelzett pontok), és a telep halastavak felőli kapujában kezdődik, majd 90°-os szögben szétválnak. Mindkét irányban további 5-5 ponton vettem fel az adatokat, melyek egymástól hozzávetőlegesen 250 m távolságra vannak. Bár a mérést célszerű minél több irányban elvégezni, a korlátozott lehetőségek miatt mindössze ezen két irányt vizsgáltam.

## 7. 3. Mérési körülmények

A mérést 2010. október 12.-én végeztem. A holdnyugta és a napkelte alapján meghatároztam, hogy a mérésnek 21:50 után kell elkezdődnie és másnap 5:51-ig kell befejeződnie.

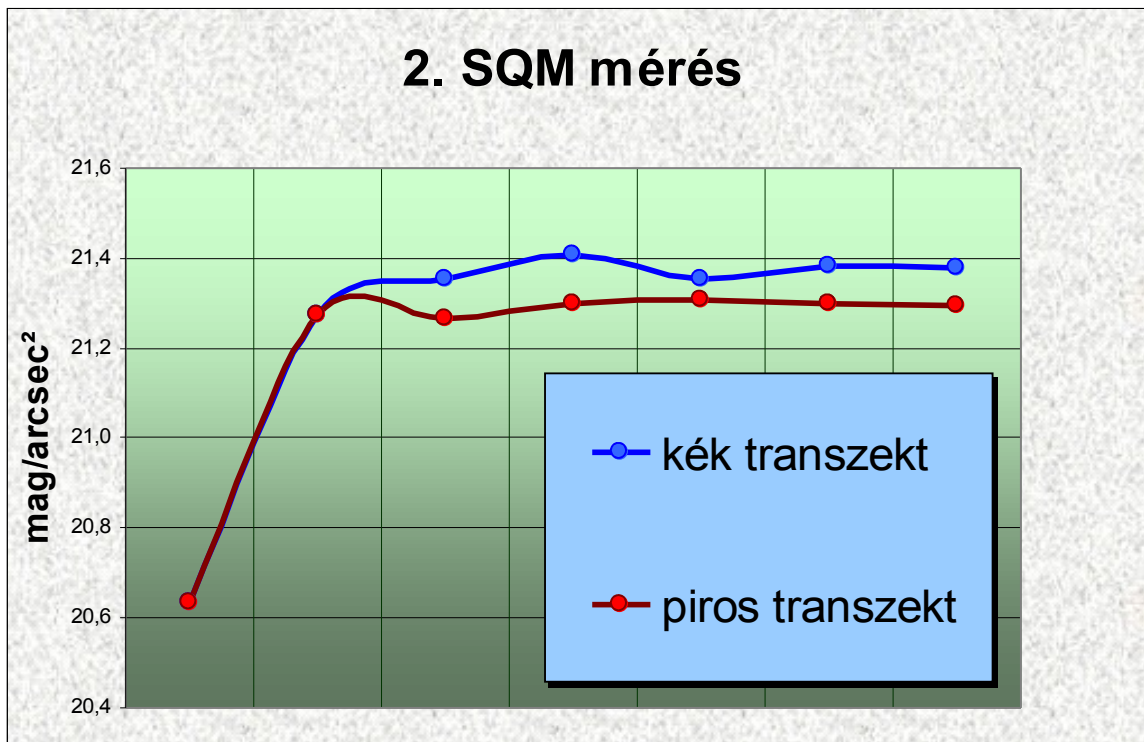
A mérés alatt a teljes Kelet-Magyarország felett felhőtlen volt az ég. A hőmérséklet a [www.idokep.hu](http://www.idokep.hu) meteorológiai archívuma szerint 3-4 °C körül mozgott.

## 7. 4. Eredmények

A mérések helyét táblázatban rögzítettem, a pontok helyét pedig online térképen ábrázoltam. Tekintettel a transzekt pontjainak egyenletességére és egymáshoz való közelségére, az eredmények grafikonon is jól ábrázolhatóak.

6. Táblázat - A második SQM mérés eredményei

				Mért érték (mag/mas <sup>2</sup> )			
Szín és sorszám	Időpont	Északi szélesség	Keleti hosszúság	Átlag	1. érték	2. érték	3. érték
Lila 1	3:46	47° 36,370'	21° 04,343'	20,63	20,58	20,43	20,89
Lila 2	22:26	47° 36,459'	21° 04,345'	21,27	21,26	21,26	21,30
<b>Piros transzekt folytatása</b>							
Piros 1	23:51	47° 36,442'	21° 04,487'	21,27	21,28	21,25	21,27
Piros 2	22:44	47° 36,414'	21° 04,677'	21,30	21,32	21,30	21,28
Piros 3	23:01	47° 36,375'	21° 04,868'	21,31	21,32	21,30	21,30
Piros 4	23:11	47° 36,335'	21° 05,069'	21,30	21,30	21,30	21,30
Piros 5	23:23	47° 36,298'	21° 05,253'	21,29	21,30	21,28	21,30
<b>Kék transzekt folytatása</b>							
Kék 1	2:34	47° 36,547'	21° 04,287'	21,35	21,37	21,38	21,31
Kék 2	2:43	47° 36,701'	21° 04,356'	21,41	21,44	21,43	21,35
Kék 3	2:55	47° 36,836'	21° 04,419'	21,35	21,35	21,37	21,34
Kék 4	3:02	47° 36,977'	21° 04,478'	21,38	21,43	21,38	21,34
Kék 5	3:07	47° 37,099'	21° 04,533'	21,38	21,35	21,44	21,35



18. ábra - A 2. mérés eredményeinek grafikus megjelenítése



19. ábra - A második SQM mérés transektjeinek pontjai

## 7. 5. Értékelés

A kapott eredmény kedvező; már a biztonsági fényektől 250 m-re is 21 mag/arcsec<sup>2</sup>-nél jobb minőségűnek bizonyult az éjszakai ég. Még a piros 1-es pontban is, ahol közvetlenül rálátni a lámpákra, a műszer 21,27 mag/arcsec<sup>2</sup>-et adott.

A mérés során megmutatkozott a mérési pontok viszonylagos sűrűségének a fontossága, ugyanis az épületek jelentette takarásban állás, illetve az onnan való kilépés az eredmény ingadozását okozta, továbbá ahogy azt az előző mérésnél is tapasztaltam, a fényforrások 2 km-es körzetében előfordulhatnak kiugró adatok.

A kék 1-es és 2-es pontokon érződik a leginkább az épületek takarása; az itt mért magasabb értékek (2-esnél abszolút maximum) oka feltételezhetően a lila 1-es ponttól nyugatra lévő épület takarása. Ez támasztja alá az is, hogy a kék 3-ason a mért érték a távolság ellenére visszaesik.

Összességében tehát, mivel nem találtam olyan pontot lámpatestek közvetlen közelében lévő lila 1-esen kívül, ahol a mesterséges háttérfényesség lényegesen magasabb lenne, és mivel a lámpák javarészt ernyőztek, vagy az épület leárnyékolja őket, a telep a fényforrások nagy száma ellenére csillagos égbolt barátnak mondható; ám ilyen nagy kiterjedésű vizes élőhely közelségében célszerű a teljes ernyőzöttség elérése is.

## **8. Az éjszakai ég minősége Püspökladány és Nádudvar között**

### **8. 1. Célkitűzés**

Az eddig bemutatott méréseim során a Hortobágyi Nemzeti Park belső területeire koncentráltam, a legkedvezőbb állapotú részek megőrzésére mind a csillagos égbolt, mind az élővilág szempontjából. Ezúttal arra voltam kíváncsi, hogy a nemzeti park peremén teljesülnek-e ugyanazok a megkívánt feltételek, mint a többi részén, vagy pedig a fényszennyezés átlépi ezt a határt; az esetben pedig, hogyha az utóbbi áll fenn, mit lehetne tenni a visszaszorítása érdekében.

Azért választottam a Püspökladány és Nádudvar közötti útszakaszt, mivel a korábbi SQM mérések alapján (ld. fentebb, 17. ábra) elképzelhetőnek tűnt, hogy a Püspökladány felőli peremterületen valóban ilyen kevésbé kedvező állapotok állnak fenn.

### **8. 2. Alkalmazott módszerek**

A mérés alapjaiban megegyezik az előző égminőségi vizsgálataimmal (ld. 5.2., ill. 7.2.), néhány fontos eltéréssel. Az értékek felvételekor ügyelni kellett arra, hogy ne akkor történjen, amikor szemben gépjármű közeledik, ez ugyanis látványosan hat az eredményekre. Továbbá elkerülendő a kiugró értékekből eredő mérési pontatlanságokat ezúttal mindenhol öt értéket rögzítettem és vettem a számtani átlagát.

A transzekt első pontját a Püspökladányi Bartók utca, egyúttal a város végén vettem fel, majd 250 m-enként követték egymás után a pontok (összesen 26), így meglehetősen részletesen nyomon tudtam követni a változásokat, majd végül megnéztem az átfedést az értékek nagysága és a nemzeti park szegélye között.

### **8. 3. Mérési körülmények**

A méréseket 2010. november 15.-én végeztem, 1:45 és 5:00 között, mely a holdnyugta és a napkelte által határolt 1:03-kor kezdődő és 5:40-kor végződő csillagászati sötétség időszakába beleesett. A hőmérséklet 8 °C volt. Bár az ég felhőzöttsége csak minimális volt, illetve felszakadozott, ám a mérés vége felé egyre sűrűsödött, így az utolsó pontokban mért égfénylésre már lehet, hogy befolyással volt.

### **8. 4. Eredmények**

Az átlagolt értékeket táblázatban rögzítettem, ami alapján szintérképet készítettem a főút égminőségéről, a 17. ábrán lévő skála felhasználásával. A hasonló adatok leolvasását megkönnyítendő a sötétebb eget jelentő színeket hosszabb vonallal használtam. Az eredményeket grafikonon is ábrázoltam.

7. Táblázat - A harmadik SQM mérés eredményei

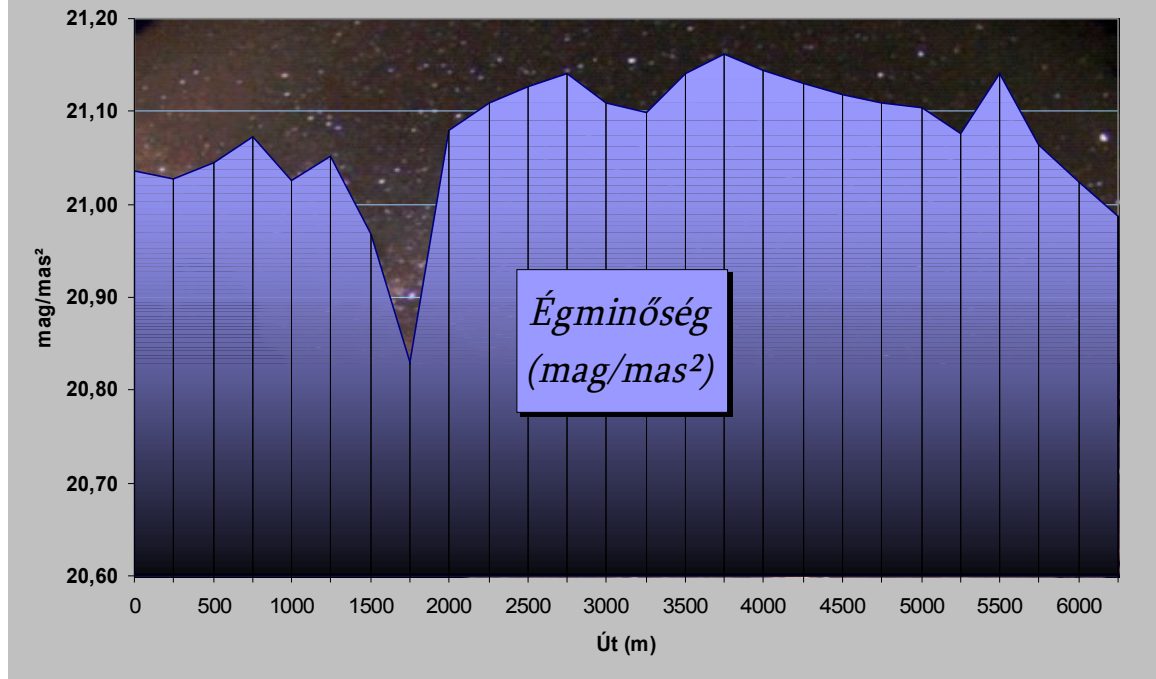
Szám	Időpont	Északi szélesség	Keleti hosszúság	Mért érték (mag/mas <sup>2</sup> )					
				Átlag	1. érték	2. érték	3. érték	4. érték	5. érték
1	1:45	47° 20.415'	21° 06.920'	21,04	21,00	21,07	21,06	21,00	21,05
2	1:49	47° 20.526'	21° 06.849'	21,03	21,00	21,02	21,02	21,10	21,00
3	1:54	47° 20.651'	21° 06.769'	21,04	21,06	21,04	21,05	21,05	21,02
4	1:57	47° 20.770'	21° 06.693'	21,07	21,10	21,07	21,07	21,08	21,04
5	2:03	47° 20.897'	21° 06.614'	21,03	21,07	21,04	21,02	21,12	20,88
6	2:12	47° 21.022'	21° 06.533'	21,05	21,06	21,02	21,12	21,02	21,04
7	2:17	47° 21.149'	21° 06.451'	20,97	21,01	20,96	21,08	20,86	20,93
8	2:34	47° 21.279'	21° 06.403'	20,83	20,88	20,87	20,76	20,84	20,80
9	3:06	47° 21.416'	21° 06.416'	21,08	21,07	21,04	21,06	21,05	21,18
10	3:13	47° 21.555'	21° 06.431'	21,11	21,12	21,08	21,07	21,10	21,18
11	3:19	47° 21.682'	21° 06.444'	21,13	21,11	21,10	21,18	21,08	21,16
12	3:25	47° 21.819'	21° 06.457'	21,14	21,14	21,10	21,20	21,12	21,14
13	3:32	47° 21.949'	21° 06.469'	21,11	21,12	21,10	21,10	21,13	21,10
14	3:38	47° 22.083'	21° 06.482'	21,10	21,11	21,10	21,09	21,09	21,10
15	3:45	47° 22.217'	21° 06.494'	21,14	21,12	21,10	21,19	21,20	21,09
16	3:53	47° 22.349'	21° 06.512'	21,16	21,22	21,14	21,21	21,11	21,13
17	4:00	47° 22.480'	21° 06.521'	21,14	21,22	21,11	21,09	21,11	21,19
18	4:06	47° 22.618'	21° 06.534'	21,13	21,15	21,13	21,11	21,14	21,12
19	4:15	47° 22.748'	21° 06.547'	21,12	21,12	21,12	21,12	21,12	21,11
20	4:20	47° 22.881'	21° 06.560'	21,11	21,12	21,09	21,09	21,17	21,08
21	4:28	47° 23.016'	21° 06.583'	21,10	21,12	21,08	21,13	21,12	21,07
22	4:33	47° 23.147'	21° 06.632'	21,08	21,09	21,07	21,07	21,09	21,06
23	4:41	47° 23.258'	21° 06.675'	21,14	21,15	21,17	21,06	21,15	21,17
24	4:46	47° 23.391'	21° 06.722'	21,06	21,07	21,06	21,07	21,07	21,05
25	4:56	47° 23.518'	21° 06.771'	21,02	21,04	21,04	21,01	21,02	21,01
26	5:00	47° 23.651'	21° 06.822'	20,99	21,00	20,97	20,97	21,05	20,95

## 8. 5. Értékelés

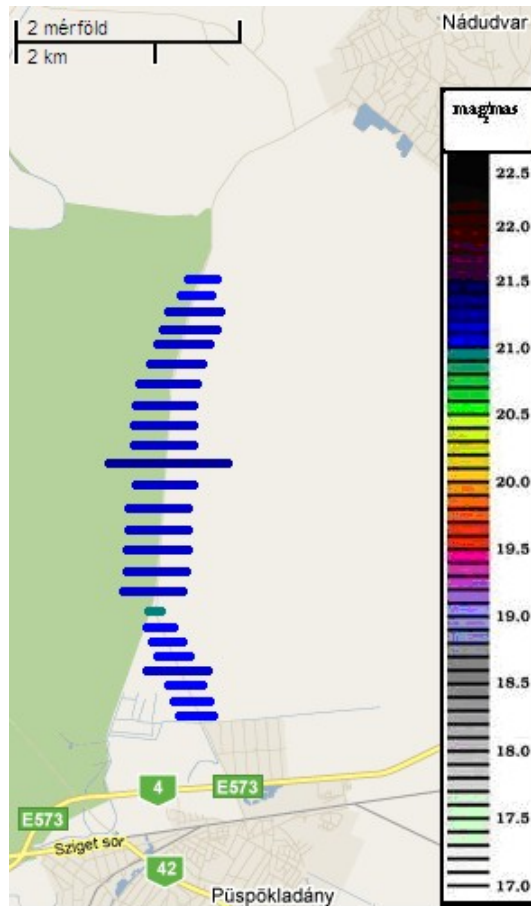
Azt tapasztaltam, hogy már Püspökladány határában eléri az égbolt a 21 mag/arcsec<sup>2</sup>-ot, illetve a nemzeti park határa mentén mindvégig elérte azt, amíg az ég el nem kezdett felhősödni.

Az egyetlen, kirívóan alacsony értéket egy pulykatelep közelsége okozta, ahol éjjel biztonsági fények működnek. A lámpatestek ernyőzetlenek és döntően az út felé tudnak világítani; ezért ezen változtatni kell; ilyen esetben célszerű mozgásérzékelőket alkalmazni, hogy megfelelhessenek a világítási szabályzatnak. Emellett a Bartók Béla utcában lévő közvilágítási lámpák szintén egész éjjel világítanak, miközben éjfél után csekély forgalmat bonyolít le, ráadásul azok, akik ilyenkor erre közlekednek a két település közötti főúton, tulajdonképpen egy hosszú, kivilágítatlan útszakaszon haladnak végig; épp ezért lényegtelen egy rövidebb szakaszon megvilágítani, indokolt lenne éjfél után az időkapcsoló.

### 3. SQM mérés



20. ábra - A 3. mérés eredményének grafikus megjelenítése (fotó a háttérben: Kolláth Zoltán)



21. ábra - A harmadik mérés pontjai

## 9. Épületek fényeinek zavaró hatása a madarakra

### 9. 1. Célkitűzés

A fényszennyezésnek számos káros hatása van a madárfaunára, melyeknek ugyanakkor közös alapja a fény madarak számára kifejtett vonzó hatása. Ilyen hatások lehetnek például a cirkadiális és cirkannuális ritmus felborulása – előbbi miatt este is aktívak, utóbbi miatt pl. a költöző madarak túl későn vagy túl korán indulnak útnak, amikor nem kedvezőek a feltételek. Olyan helyekre csalogathatja őket, ahol nem jutnak elég táplálékhoz. Az éjszaka vonuló madarakat a hirtelen, erős fény elvakíthatja. Közvetlenebb és még veszélyesebb a tűz, pl. erdőtűz, gázfáklyák. Ezekhez a madarak túl közel repülhetnek és megéghetnek. Azonban a legnagyobb mértékű pusztulást a kivilágított emberi létesítményekkel való ütközés jelenti. A madarakra gyakorolt fényhatásokkal foglalkozó szervezet, a FLAP (Fatal Light Awareness Program) szerint több százmillió madár pusztul el évente épületekkel ütközés következtében, illetve az adótoronyokkal való ütközés is 4-10 millióra tehető évente. [34]

Már régóta ismert jelenség a madarak fényre repülése; ennek ellenére magának a jelenségnek a mechanizmusait nem ismerjük. Ráadásul ezek a mechanizmusok sok esetben ellentmondásosak; figyelték már meg a fény távoltartó hatását is, továbbá rengeteg a nyitott kérdés, és a tudósok az elmúlt évtizedekben sokszor teljesen ellentétes következtetésekre jutottak, hiszen az eredmény eltérhet fajonként, életkoronként, függhet az időjárástól, a fény hullámhosszától, villódzásától, intenzitásától stb... [12]

Több tudós úgy véli, hogy a vonuló madarakra a vörös fények hatnak a legerősebben, ennél fogva azok a legveszélyesebbek, és célszerű a cseréjük fehér, avagy villogó fényekre.

A Hortobágyi Nemzeti Park közelében is vannak ilyen magas, vörös fényekkel kivilágított tornyok: Nagyhelyesen a MOL Rt. Földgáztermelő- és tároló üzeme, illetve Újszentmargitán a tv-torony. Mivel a Hortobágy faunája egyedülállóan gazdag (159 itt fészkelő faj és 178 vonuló, mint pl. szürkeludak, darvak stb.), törekedni kell ennek megőrzésére, épp ezért mostanában kezdtek el a Hortobágyi Nemzeti Parkban is foglalkozni a problémakörrel. Bár számszerű adatok nem állnak rendelkezésre, elővigyázatosságból feltételeznünk kell, hogy ez veszélyes a madarainkra.

Ezen fejezetben szeretném áttekinteni a külföldi kutatók eddigi ismereteit, eredményeit, és megpróbálom megválaszolni, hogy a fent említett vörös fényeket mire érdemes lecserélni.

### 9. 2. Alapvető tények

Vannak szerencsére olyan esetek, amiben a tudósoknak sikerült többnyire egyértelmű álláspontot tenniük. Ezek kerülnek most áttekintésre ebben az alfejezetben.

#### 9. 2. 1. Spatiális diszorientáció

A spatiális diszorientáció jelentése a rossz tájékozódási viszonyok illetve az érzékelés hiánya miatti elvesztése a mozgásnak vagy irányításnak. A. D. Herbert 1970-ben

hasonlította cikkében a madarakat a repülőgép-pilótákhoz, és arról számolt be, hogy a fényes tornyok, épületek elsősorban akkor hatnak zavarólag a madarakra, amikor a tájékozódási körülmények rosszak, felhős, viharos az ég. Ilyenkor a madarak a legerősebb bejövő ingerre, jelen esetben a tornyokra hagyatkoznak, és nekimennek, vagy köröznek körülötte.

Éjszaka a fény a normális repülési ciklusuk felborítására készítetik a madarakat, és annak következtében vezetnek ütközéshez, hogy megpróbálnak helyreigazítani repülési útjukat. Ezen túl a hirtelen vakító fény is okozhatja a jelenséget.

### **9. 2. 2. A horizont fénylésének útmódosító hatása**

A madarak a horizont fénylését próbálják alapul venni a tájékozódásukhoz. Az erős mesterséges horizont felőli fény tehát eltérítheti őket.

### **9. 2. 3. Immaturek fokozott érzékenysége**

1982-ben Gauthreaux ketrecbe zárt vándormadarakkal végzett egy kísérletet. Amikor a madarak vándorlási nyughatatlanságot tapasztaltak, a fiatal és felnőtt fehérkoronás verebeket kör alakú orientációs ketrecekbe tették be, ahol lejátszották a teljes költözést úgy, hogy a ketrecet fényforrással megvilágították. Mikor kiszámolták a két csoport irányultságának eredőjét, azt tapasztalták, hogy a fiatal madarak – a helyes iránnyal ellentétben – elsősorban a fény felé akartak repülni.

Az immaturek a természetben különösen akkor veszélyeztetettek, ha a szüleiktől elkülönülve mozognak, pl. sarki csér.

Feltételezhető ebből, hogy a fiatal egyedek még nagyobb mértékben hagyatkoznak a vizuális jelekre, mint felnőtt társaik.

### **9. 2. 4. A fényárvilágítás pusztító hatása**

A világítótornyok vonzó hatása a kezdetektől fogva sok madár életét követelte. Bár egyedi esetekben Angliában az épületek fényárvilágítással láthatóbbá tétele csökkentette az ütközések számát (de meg nem szüntette), mára bizonyítottnak tűnik, hogy hasonlóan a meteorológiai ceilométerekhez és a fényárlámpákhoz rendkívül vonzóak a madarak számára és alacsonyan lévő sűrű felhős időben tömegesen repülnek neki a megvilágított felületeknek. [33]

### **9. 2. 5. Tornyok, felhőkarcolók**

Különösen veszélyesen ütközés szempontjából azok az épületek, amelyek a madarak természetes repülési zónájáig ér fel. Ezek elsősorban az Egyesült Államokban okoznak tömeges pusztulást.

### **9. 3. A madarak számára attraktív hullámhosszok és fényforrástípusok**

#### **9. 3. 1. A madarak látása**

A madarak kiváló látásukat annak köszönhetik, hogy szemükben – az embertől eltérően – hétfajta fotoreceptor található: négyfajta csap, pálcikák, és kettőscsapok, emiatt az ultraibolya tartományban is látnak [1]

#### **9. 3. 2. Kedvezőtlen időszakok és vonzó fényforrások**

A különböző fények madarakra gyakorolt hatásaival kapcsolatos megfigyelések sokáig ellentmondásos eredményeket mutattak.

Sokan arról számoltak be, hogy az ütközések leggyakrabban holdnélküli éjszakákon fordulnak elő. Crawford 1981-ben történt megfigyelésében azonban nem talált erős összefüggést a Hold megvilágítása és az ütközések száma között. Bár újhold körüli időszak alatt történt a pusztulások kb. 40%-a, teliholdkor és környékén is sok ütközés történt.

A XIX. Sz.-ban Dixon (1897) még az álló fehér fényt tekintette a legpusztítóbbnak, és Thompson (1926) szerint is a színes fények a kevésbé vonzóak számukra. Tufts (1928) felmérése alapján azonban egyenlő mértékben bizonyult veszélyesnek a kettő. Cochran és Graber (1958) a vörös fényt ítélte a legnagyobb vonzó hatásúnak. Laskey 1960-ban a hosszú hullámhosszok kiszűrésével ért el drasztikus javulást. S. A. Gauthreaux Jr. És Carroll G. Belser pedig adótoronyok vizsgálatokor radaros pályaszámlálással már egyértelműen a vörös fényt találta a legveszélyesebbnek, szemben pl. a villódzó forrással, amit távoltartónak ítelt. [1]

Jelenleg a tudósok abban látják a vörös fény hatásának okát – mára elfogadottá téve, hogy a vörös fény hatása a legsúlyosabb – hogy annak hullámhossza megzavarja a madarak mágneses tájoló mechanizmusát. A rövidebb zöld és kék hullámhosszokra bár elvileg még inkább érzékenyebb a szemük, ezek a vörössel ellentétben szükségesek a mágneses orientáció megfelelő működéséhez. [35] Ezt támasztja alá az a 1993-as kísérlet is, ahol orientációs ketrecekben az izzó, a kék hidegfényű lámpa vagy a zöld LED fényét diffundálva nem okozott diszorientációt, míg a vörös LED-é igen. [36]

Gehring 2003 és 2005 közötti vizsgálatai során 24 véletlenszerűen választott michigani adótorony madarakra gyakorolt hatását figyelte meg. 2005-ben, amikor a toronyok közül 18-ról eltávolították az állandóan világító fényforrásokat, össze tudta hasonlítani a villogó fehér és villogó vörös fényeket. Azt tapasztalta – azon túl, hogy a mortalitás lényegesen lecsökkent – hogy mivel nem volt a kétfajta torony között érdemi különbség, a fény villogása színre való tekintet nélkül hozzájárul a madarak távol tartásában.

### **9. 4. A vörös fény jelentette probléma megszüntetése**

Ahogy fentebb kiderült, alapvetően két lehetőség áll fenn a Hortobágyi Nemzeti Park közelében lévő ütközések számának csökkentésére:

**Zöld szín használatával.** Ez a madarakra gyakorolt hatást teljesen megszüntetheti, ám figyelembe kell venni a környezetében élő állatok spektrális érzékenységét a zöld fényre, illetve célszerű a monokromatikus zöld használata.

**A fények villogásával.** Ilyenkor a villogó fény humánegészségre gyakorolt hatását érdemes figyelembe venni, ami a közelben lakókat érintheti.

## 10. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Gyarmathy Istvánnak az állandó szakmai segítséget és információkat, amit az eltelt fél évben adott nekem. Közbenjárása nélkül méréseim nem valósulhattak volna meg.

Köszönöm Dr. Végvári Zsoltnak az ő segítségét az első mérés során és nem kevésbé a jó szakdolgozat elkészülését segítő tanácsait, valamint Dr. Kolláth Zoltánnak a rengeteg kiváló cikkéért és fotójáért a témában.

Köszönettel tartozom továbbá szüleimnek, akik megértően kezelték az írással járó helyzeteket, és barátaimnak, akik lelkiemben egyben tartottak a sorok zárultáig.

## 11. Irodalomjegyzék

- [1] C. Rich, T. Longcore, Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Island Press, Washington (2006)
- [2] L.R. Petrényi, A fényszennyezés káros hatásai és megelőzésének lehetőségei (2003)
- [3] C. Marin, F. Sánchez, Starlight Reserves and World Heritage: Scientific, cultural and environmental values
- [4] Zs. András, A fényszennyezés szabályozási lehetőségei (2004)
- [5] J. Aczél, M. Beck, Természetudományi lexikon (1968)
- [6] Arisztotelész, Az állatok története
- [7] International Astronomical Union, XXIII. General Assembly (2007)
- [8] P. Cinzano, F. Falchi (University of Padova), C. D. Elvidge (NOAA National Geophysical Data Center, Boulder)
- [9] <http://www.lightpollution.it/dmsp/>
- [10] Z. Kolláth, Látnak-e még csillagot utódaink?; Természet világa, Feltárul a Világegyetem, különszám (2009)
- [11] G. Horváth, Fényszóródás a természetben; Természet világa, 117. évf., 6. szám (1986)
- [12] <http://fenyszennyezés.csillagászat.hu/>
- [13] P. Cinzano, A portable spectrophotometer for light pollution measurements (2004)
- [14] <http://www.epakelectronics.com/pdf/uvps/radiometers/IL1700.pdf>
- [15] [http://www.lightpollution.it/istil/istil\\_laboratory.html](http://www.lightpollution.it/istil/istil_laboratory.html)
- [16] Z. Kolláth, Lehet-e száz év múlva is csillagászat nemzetközi éve?; Magyar Tudomány, októberi szám (2009)
- [17] P. Cinzano, Night Sky Photometry with Sky Quality Meter (2005)
- [18] Z. Kolláth, Using Digital SLR camera to monitor light pollution
- [19] <http://csillagpark.hu/>
- [20] A. Barducci, M. Benvenuti, L. Bonora, F. Castagnoli, D. Guzzi, P. Marcoionni, I. Pippi, Hyperspectral remote sensing for light pollution monitoring, Annals of geophysics, 49. szám (2006)
- [21] P. Teikari, Light pollution: definition, legislation, measurement, modelling and environmental effects (2007)
- [22] <http://www.muszakilapok.hu/kornyezetvedelem>
- [23] M. J. Varró, A fényszennyezés emberi egészségre gyakorolt hatásai (2008)
- [24] <http://www.darksky.org>
- [25] L. Mocsár, A fényszennyezés jogi szabályozása külföldön és Magyarországon (2005)
- [26] Dág Község Önkormányzata Képviselő testületének 8/1998. (VIII.31.) Kt. rendelete a köztisztaságról és környezetvédelemről
- [27] <http://www.discoverlife.org>
- [28] <http://www.mymap.hu>
- [29] Cherry Springs State Park Light Pollution Analysis and Recommendations (2008)
- [30] Lighting Assessment – Mirant Power Morgantown Generating Station Coal Blending (2010)
- [31] <http://portal.ksh.hu/pls/portal/cp.helysegnevtar>
- [32] A. D. Herbert, Spatial disorientation in birds, (1970)
- [33] M. Avery, P. F. Springer, J. F. Cassel, The effects of a tall tower on nocturnal bird migration – a portable ceilometer study
- [34] <http://www.flap.org>
- [35] M. Liedvogel, K. Maeda, K. Henbest, E. Schleicher, T. Simon, C. R. Timmel, P. J. Hore, H. Mouritsen, Chemical Magnetoreception: Bird Cryptochrome 1a Is Excited by Blue Light and Forms Long-Lived Radical-Pairs (2007)

- [36] W. Wiltschko, U. Munro, H. Ford, R. Wiltschko, Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds (2007)
- [37] A. M. Manville, Towers, turbines, power lines, and buildings – steps being taken by the U.S. Fish and Wildlife Service to avoid or minimize take of migratory birds at these structures (2009)