

7. ábra. A LabView kijelzője a csillapítási tényező meghatározásakor.

jellemző csillapítási tényező mérésel történő meghatározása ezért csupán csak a legjobbak feladata lehet. Az amplitúdó időbeli változását klasszikus eszközökkel nem egyszerű úgy vizsgálni, hogy a mért adatokból a csillapítási tényezőt meghatározhassuk. A csillapítási tényező meghatározását segíti az általam LabView programozási nyelven készített szoftver. A rezgőmozgást végző test alá egy papírlapot ragasztva a felület erősen megnövelhető, látványosabbá téve a csillapítást.

A test alá egy myDAQ eszközhöz csatlakoztatott CNY70-es optikai reflexió szenzort helyezve (6. ábra) a kitéréssel arányos jelek a szoftverben (7. ábra) egy grafikus kijelzőn láthatók. (A tanulók – kreativitásukat kihasználva és a mérést továbbfejlesztve – az optikai érzékelőt egy drágább távolság-érzékelő szenzorra cserélve a tankönyvükben látható jelet kaphatják.)

már elemezhető. A két szomszédos amplitúdó megközelítő mintavétel számát a grafikonról leolvashatjuk, és a bal oldali adatmezőbe beírhatjuk. Ezután a számolást az „adatokat megadva – Számolás indul!” gombra kattintva a számítógép elvégzi és a csillapítási tényezőt a képernyő jobb alján látható mezőbe kiírja. Az amplitúdó megközelítő mintaszámának 10 mintaszámú környezetében a szoftver megkeresi a tényleges amplitúdókat (minimumok) és a hozzájuk tartozó időket, majd azokból periódusidőt és csillapítási tényezőt számol. A szoftver segítségével meghatározható a tetszőleges mintaszámhoz tartozó amplitúdó és idő is, amellyel digitálisan is „követhető” az amplitúdó időbeli változása. A testre különböző területű lapokat ragasztva vizsgálható a csillapítási tényező felületfüggése.

A méréshez szükséges eszközök: Bunsen-állvány, rugó, test, papírlap, ragacs, myDAQ, CNY70 érzékelő és a LabView szoftver.

NEM CSAK A ZSELICBEN POMPÁZIK CSILLAGFÉNYBEN AZ ÉJSZAKAI ÉGBOLT

– szekszárdi diákcsoport fényszennyezésmérései

Döményné Ságodi Ibolya
Garay János Gimnázium, Szekszárd

„A csillagos ég az egész emberiség öröksége, amit ezért érintetlenül meg kell őrizni. ... A csillagos ég kapjon legalább annyi védelmet, mint amennyit a világörökség részét képező helyek kaptak a Földön.” A Nemzetközi Csillagászati Unió XIII. közgyűlésének (1997) egyik állásfoglalása.

Motiváció

A Zselici Tájvédelmi Körzet 2009. november 16-án Európában elsőként elnyerte a *Nemzetközi Csillagoségbolt-park* (International Dark Sky Park) minősítést. A címet a Nemzetközi Csillagoségbolt Szövet-

ség alapította annak felismerése nyomán, hogy a Földön egyre kevesebb helyről élvezhetjük teljes pompájában a csillagos égbolt szépségét. Száz éve még minden gyermek természetes tapasztalatként érzékelte a Tejutat, a hullócsillagokat és a csillagképeket, ezekre a tapasztalatokra azonban ma már

csak a „fényszennyezésmentes” tájakra szervezett túrákon tehetünk szert.

Néhány lelkes diákkal azt kívántuk megvizsgálni és mérésekkel objektíven alátámasztani, hogy vajon gimnáziumunk, a szekszárdi Garay János Gimnázium környékén, Tolna megye területén vannak-e a zselichez hasonló szépségű égboltot mutató tájak. A munkát segítette, hogy gimnáziumunkban több éve sikeresen pályázunk az *Útravaló Ösztöndíjprogram Út a tudományhoz* alprogramjának keretében megvalósítható mikrokatatásokra és az ezekhez szükséges anyagi támogatásra. Legutóbbi kutatási programunk keretében (*Fényképezés asztrofotós mechanikával*), egy jó minőségű asztrofotós állványhoz (EQ-6) jutottunk, amelynek segítségével különféle égi objektumokról magasabb esztétikai igényű és tudományos értékű fotókat készíthettünk. A részletűs képek előállításához sötét égboltú helyeket kellett keresnünk, ugyanis minél jobb minőségű az ég, annál hosszabb expozíciós idejű felvételeket lehet készíteni és annál több részlet jön elő a képen. Égi háttérfényesség-méréseinket ilyen helyek felderítése céljából kezdtük el. A következőkben ezen mérések fizikai háttéréről, a mérések mikéntjéről és fizikatanításbeli motivációs hatásáról számolunk be.

Bevezetés

A környezetszennyezés fogalomkörébe ma már beletartozik a fényszennyezés is, azonban jelentésértelmezésben különbözik a többi szennyező hatásokétól. Először a szokásosan használt fogalmakat érdemes felidézni.

Szennyezésről a környezetvédelemben akkor beszélünk, ha valamilyen káros anyag mennyisége meghaladja az előre rögzített határértéket. A fény esetében ez a meghatározás két okból is nehezen alkalmazható, egyrészt, mert a fény nem káros anyag, másrészt, mert nem létezik előre rögzített küszöbérték, amelynek meghaladását figyelembe kellene venni. Így ebben az esetben csupán fényterhelésről beszélhetünk.

A fényszennyezés összetevőiként a következők szerepelnek: napnyugta utáni fény, mesterséges fényforrásból származó fény, valamint a zavaró fény, ami a fényforrás fényének azon része, amely nem a rendeltetésének megfelelő célt szolgál, a megvilágítandó felületen kívül esik (például a szórt fény is ilyen). A nemzetközi gyakorlatban a fényszennyezés többféle meghatározása létezik és a figyelembe vett hatások is szerteágazók.

Az Európai Unióban a fényszennyezés a zavaró fény és a mesterséges fény környezetre gyakorolt káros hatásainak összege. Kanadában a káprázás, a világitási túlkapás és az égbolt fénylésének összességét tekintik fényszennyezésnek. Káprázásnak nevezük a fényűrűség szokatlan eloszlásának vagy szokatlan értékének, illetve a térben vagy időben fellépő igen erős kontraszt következtében fellépő látási kényelmetlenséget és/vagy a tárgyak felismerhetőségének csökkenését. A világitástechnikában a rosszul

irányított fényt világitási túlkapásnak mondják. Fénynyel birtokháborítás is elkövethető, ha más épületére, ingatlanára esik a nemkívánatos fény, és ott káprázást vagy egyéb kellemetlenséget okoz (például zavarja a pihenést). Csehországban a következő meghatározást használják: fényszennyezés az olyan mesterséges fényforrásokból származó fény, amely kívül kerül azon a területen, amelyre szánták, különös tekintettel az olyan fényre, amely a horizont felé vagy feljebb irányul. Hazánkban a csehországihoz hasonló törvényt használunk a következő kiegészítéssel: fényszennyezésnek tekinthető az a megvilágítás is, amely az adott feladathoz szükséges világitási értékeket többszörösen meghaladja [1].

A káros hatások következményeit alapul véve megkülönböztethetünk ökológiai és asztronómiai fényszennyezést. Nem kis probléma, ha a csillagászok kutatómunkáját zavarja a túl sok fény, de úgy gondoljuk, hogy ezt minden bizonnyal meghaladja az alábbiakban néhány példán bemutatott, a fényszennyezés által a biológiai környezetre gyakorolt veszélyeztető hatás. A mesterséges fény által az élővilágra kifejtett káros hatások összességét ökológiai fényszennyezésnek nevezzük, míg az asztronómiai fényszennyezés az égbolt felé irányuló fényugarak égítetek láthatóságát csökkentő hatását értjük.

A fényszennyezés ökológiai hatása

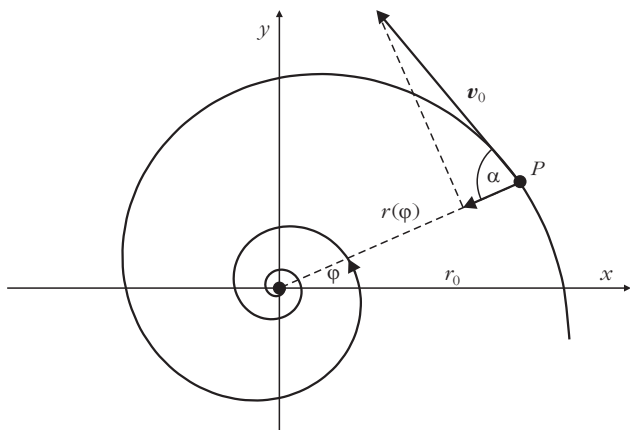
A természetes fény helyzetét vagy változásának ritmusát megzavaró mesterséges fények sok bajt okozhatnak a fény szerint időben és térben tájékozódó állatok életében. A következőkben ezekből gyűjtöttünk össze néhányat.

A vándormadarak éjszaka a csillagok alapján tájékozódnak, a nagy háttérfényesség miatt azonban a csillagok gyakran nem jól látszanak, illetve a madarak a horizont közelében lévő erős mesterséges fényeket is csillagoknak nézhetik, így eltévedhetnek. Gyakran bekövetkezik az is, hogy erősen megvilágított terület fölé érve, úgy érzékelik, mintha nappal lenne és leszállnak, viszont táplálékot nem találnak a területen, így a kimerültségtől nem tudnak továbbrepülni [2].

A sötét környezethez képest a mesterséges éjszakai fények meglepően nagy intenzitásúak, ezért vonzzák vagy taszítják az állatokat. Ezt a jelenséget nevezzük *pozitív* vagy *negatív fototaxisnak*. Nagy veszélyt jelentenek a madarak számára a kivilágított toronyházak, vagy tengerparti országok esetén a világitótornyok. A környezetvédelmi szakirodalomban gyakran olvasható, hogy sok madár pusztul el, mert nekiröppül ezen objektumoknak.

A vonzás, azaz a csapdahatás különösen a rovarokra veszélyes, mert sok rovarfaj mozgását a Hold helyzetéhez viszonyítva irányítja. Tapasztalati tény, hogy az éjjel repülő rovarok vonzódnak a mesterséges fényhez. Mi az oka, hogy ezek a rovarok a fényre repülnek? A *Bud-denbrook* fényiránytű-elmélet (1937) szerint a rovarok éjszakai tájékozódásukhoz fényforrásokat használnak.





1. ábra. A logaritmus spirálpálya.

A rovarok azért kerülnek csapdahelyzetbe, mert a mesterséges fényt összetévesztik a holdfényvel.

Az éjszakai rovarok a Holdhoz állandó szögben repülve tartják az egyenes irányt. Az égitest a rovarok számára „végtelen” távoli, így a róla érkező párhuzamos fénysugarakkal állandó szöget bezáró repülési pálya egyenes vonal. Ha a rovar a Holdat valamilyen földi mesterséges fényforrással helyettesíti, akkor a fényforráshoz húzott sugárhoz képest tartja állandó szögben repülését és így letér az egyenes pályáról, spirális mozgást végez és egyre szűkülő keringéssel a lámpatestre zuhan és elpusztul. Belátható, hogy ilyenkor a rovarok pályája logaritmus spirál. A pálya alakjának pontos leírása középiskolai matematikával nem lehetséges, számítógéppel azonban kirajzolható. Néhány egyszerű kérdés azonban pusztán kinematikai ismeretekre támaszkodva is megválaszolható, és jobb tanulócsoportokban motiváló erejű lehet a sebesség vektorjellegének tartalmi megismerésére. Középiskolában érdemes a következő feladatot tehetség-gondozó oktatási formában (például fizika fakultáción vagy szakkörön) megoldani.

Egy rovar v sebességgel és a Hold irányához képest α szögben repül, majd az utcai lámpától r távolságban a Holdat a lámpával helyettesíti. Mennyi idő alatt repül a lámpába, és mekkora utat tesz meg ezalatt?

Készítsünk ábrát a feladat szemléltetésére: modelünkben a lámpa az origóban van, a rovar helyét a P pont szimbolizálja (1. ábra).

Az állandó nagyságú v sebességgel haladó repülő rovar lámpa irányába eső sebességkomponense állandó: $v_l = v \cos \alpha$. Így a rovar a lámpához

$$t = \frac{r}{v \cos \alpha}$$

idő alatt jut el. Ezalatt

$$s = vt = v \frac{r}{v \cos \alpha} = \frac{r}{\cos \alpha}$$

utat tesz meg. A feladat megoldása látszólag egyszerű, azonban fogalmilag nagyon nehéz. A tanulók számára gondot okoz, hogy a görbevonalú pályán mozgó test adott pont felé történő állandó sebességű mozgását megértsék.

Taszító hatás (*negatív fototaxis*) is érvényesülhet bizonyos állatfajoknál, például madaraknál. Ezek a madarak – ha tehetik – a fénytől távolabbi helyet választanak fészkelő helyül, ezáltal életterük csökken és esetleg távolabb kerülnek a táplálékszerző területtől, így fiókáikat több fáradtsággal tudják felnevelni.

A mesterséges fények megzavarhatják bizonyos fajok egyedeinek egymás közötti kommunikációját. Ez közismert tény a szentjánosbogarak esetében. Még veszélyesebb, ha a zavaró hatás ivar szerint is szeparál. A mesterséges fény az egyedeket eltéríti szaporodó partnerüktől, természetes élő- és táplálkozási helyüktől. Amikor fénycsapdába kerülve nagy tömegben keringenek a fényforrás körül, megjelennek a velük táplálkozó madarak és egyéb állatok. Belgiumban a kivilágított autópálya – tapasztalat szerint – nemcsak a rovarokat, hanem a rájuk vadászó ragadozókat is veszélyezteti.

A tengeri teknősök szaporodását is megzavarja a túlzott tengerparti kivilágítás, ugyanis a kikelő egyedek nem a megszokott módon, a tenger által visszavert holdfényhez tájolóják mozgásukat, nem a tenger irányába, hanem a fényben úszó tengerparti szórakozóhelyek felé indulnak el, és így elpusztulnak.

Az állatvilág egyedei két dologhoz igazítják életritmusukat: a napszakok váltakozásához, ezt nevezzük cirkadiális ritmusnak, valamint az évszakok váltakozásához, ez pedig a cirkannuális ritmus. Az állatok a túlzott kivilágítás miatt a nappalokat hosszabbnak, az éjszakákat rövidebbnek érzékelik. Ennek következtében a nappal aktív fajok még a késő esti órákban is táplálékot keresnek, pihenőidejük lerövidül, ami legyengülésükhöz vezethet. Például a vörösbegy – amely normál körülmények között csak alkonyatkor dalol – a nagyvárosokban egész éjjel énekel [1].

Az állatok az esztendő körforgását elsősorban a nappalok és éjszakák hosszának változásából érzékelik, ezt a fajok által érzékelt időtartamot változtatja meg a túlzott mesterséges világítás, és így másként észlelik az évszakokat. A városi fényben élő, nem költöző madarak például a megszokott időnél korábban, hűvösebb időben költenek, ezért fiókáik nagyobb arányban pusztulnak el, mint a sötétebb területeken előké.

A fényszennyezés asztronómiai hatása

Szóltunk már a zavartalan csillagos ég szépségéről. Fényszennyezésmentes helyről, szabad szemmel az átlagos ember akár 3000 csillagot is megfigyelhet, ezzel szemben a nagyvárosok felett már csak a legfényesebb égitestek láthatók. A csillagok „eltűnnek” a városi égről, nem is beszélve a láthatatlan Tejútról. Nagyon sok városi gyermek úgy nő fel, hogy sohasem látja a Tejutat.

A fényszennyezés megkeseríti a hivatásos és amatőr csillagászok életét is. Magyarországon nagyon nehéz kellően sötét egű észlelőhelyet találni. A nagyvárosok kivilágításának következményeként

fénykupola jelenik meg a horizonton, amely akár száz kilométerről is látható. Ezért egyre távolabb kell utaznia annak, aki meg akarja tapasztalni a csillagos ég szépségét. Egyaránt zavaró tényező a fény- és a légszennyezés, mert a légkör aeroszoltartalma (0,1-1 μm méretű részecskék) csak kis mértékben nyeli el a fényt, inkább a fény szórása jellemző rá. A Pizskéstetői Observatórium a Mátrában található, amely hazánk legmagasabb hegysége, a fény- és légszennyezés azonban itt is érezteti hatását, csökkenti a megfigyelések pontosságát. Az aeroszolrészecskék lebegése következtében nemcsak a kozmikus fényforrások váltak halványabbakká, hanem jelentősen megnőtt az égbolt háttérfényessége is, amely a halványabb objektumok fényképezését nagymértékben zavarja [3].

A fényszennyezés hatása a hétköznapi életre

A túlzott világítás közvetlen hatásai közül két tényezőt kell megemlítenünk: a káprázást és az emberek pihenésének megzavarását. Mindenki ismeri a jelenséget: erős fényforrásba nézve negatív utóképet látunk, ez a káprázás, amely például gépjárművezetés-kor igen veszélyes. Káprázást okozhat egy szembe jövő autó reflektora, a még vagy már eléggé fényes lenyugvó, illetve kelő Nap... stb. A túl sok éjszakai fény felborítja bioritmusunkat, hosszú távon akár rosszindulatú daganatok kialakulásának kockázatát is növelheti. Az éjszakai zavaró fény ugyanis gátolja a tobozmirigy melatonin hormonjának – éjszakai pihenés-kori – termelődését. Ez a hormon antioxidáns hatása miatt gátolja a rákos sejtek képződését. A mellrák gyakorisága harmada-ötöde az éjszaka megvilágítatlan országokban, mint az iparilag fejlett, azaz éjszaka is erősen kivilágított vidékeken. (Statisztikákból az is kiderül, hogy vak embereknél kisebb a mellrák aránya, mint a látóknál.) Ismeretes, hogy a három műszak sem kedvez az egészségnek: a folyamatos műszakban dolgozók jóval nagyobb arányban szenvednek mell-, illetve bélrákban, mint a csak nappal foglalkoztatottak. Ezért a WHO 2007-ben lehetséges rákkeltővé minősítette a váltóműszakot is [4].

Az egyre jobb anyagi helyzet és az egyre olcsóbban előállítható fény az egyes embereket is arra készteti, hogy nem törődve a természettel és esetlegesen a szomszédban lakókkal sem, saját ingatlanuk határán túlnyúló fényáradattal világítsák ki környezetüket. Ez a világítási túlkapás különösen télen, a karácsonyi ünnepek előtt és után figyelhető meg.

A fizikai hatások mellett súlyosak a mentálisak is, *Konrad Lorentz* a következőkre mutatott rá: „A természettől való általános, egyre fokozódó elidegenedés nagymértékben okolható a civilizált emberiség esztétikai és etikai eldurvulásáért. A felnövekvő generáció hogyan is tanulna meg a természet tiszteletét, ha maga körül csak emberkéz alkotta környezetet talál...? A nagyvárosokban még a csillagos eget is elrejtik előle a toronyházak és a lég(fény)szennyezés...” [5].

A tájkép sérülése és energiapazarlás

A táj az ember által érzékelt terület. A csillagos égbolt hozzátartozik az esti panorámához, a táj képéhez, kötelességünk olyan állapotban megőrizni, ahogyan elődeink is látták. „A nagyvárosokban, azok környékén, vagy az iparvidékeken élő milliók számára ismeretlen az éjszakai sötét ég látványa.”¹ Magyarország lakosságának körülbelül 40%-a még tiszta időben sem láthatja a Tejutat, feléne pedig olyan az éjszakai égboltja, hogy nagyobb a háttérfényessége, mint egy teleholdas éjszakáé [6].

A felesleges megvilágításhoz szükséges energia előállítása pazarlást jelent, hiszen ezen energia előállítása felesleges pénzkidobás. Ebből a megközelítésből nézve az energiaszolgáltatók és a környezetvédők érdekei azonosak a fényszennyezés csökkentését tekintve. „Odafentről (a világűrből) nézve világosan látható, hogy ez (a túlzott kivilágítás) a fosszilis és atomenergia céltalan pazarlása, ami ráadásul elnyomja a kozmoszból a Földre érkező gyenge sugárzást is. A fényszennyezés elleni fellépésben a gazdaság érdeke teljesen egybeesik a tudományéval. Egyszerű szabály, hogy a fényt a megvilágítandó tárgy felé kell irányítani, amivel nemcsak energiát lehet megtakarítani, hanem az égbolt eredeti látványa is megőrizhető. Csupán e fizikai szabály közigazgatási szabályként való alkalmazását kell elérni. Az IAU méltányolja és támogatja e gond tudatosítására és megoldására irányuló valamennyi nemzeti és helyi kezdeményezést.”²

A fényszennyezés keletkezésének fizikája

A földfelszínről a légkörbe jutó fénysugarak az égbolt „kifényesedését” okozzák. Ennek fizikai oka a fény-szóródás jelensége. Az éjszakai ég fénylését a levegő molekuláin, illetve a levegőben található aeroszolrészecskékről szóródó fény okozza. Légköri aeroszolnak nevezzük a levegőben diszpergált szilárd vagy cseppfolyós részecskéket összességét. Az aeroszolrészecskék mérete a levegőmolekulák átlagos méreténél legalább egy nagyságrenddel nagyobb. Ködről akkor beszélünk, ha a légköri vízgőz kicsapódásának következtében igen apró, 0,5 mm-nél kisebb átmérőjű folyadék-cseppek vannak jelen. A ködszemcsék fényszórása következtében a látótávolság 1 km alá csökken.

A fényszóródás többféleképpen is létrejöhet. Ha a fényhullámhossznál több nagyságrenddel kisebb méretű atomokon, molekulákon szóródik a fény, akkor molekuláris vagy *Rayleigh*-szórásról van szó, ha pedig a fényhullámhossz nagyságrendjének megfelelő méretű szemcséken történik a szórás (aeroszolknál), akkor *Mie*-szórásról beszélünk.

¹ A Nemzetközi Csillagászati Unió kibővített állásfoglalása. IAU Information Bulletin 83. szám

² A Nemzetközi Csillagászati Unió kibővített állásfoglalása. IAU Information Bulletin 83. szám





2. ábra. A fényszennyezésmérő készülék [8].

A Rayleigh-szórás esetén a fényszóródás nagymértékben függ hullámhossztól (a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos). Ez az oka például az égbolt kék színének is. A Napból érkező sugarak közül ugyanis a kék komponens, rövidebb hullámhossza miatt sokkal erősebben szóródik, mint a vörös. A lenyugvó, illetve felkelő Nap esetében tapasztalható vöröses árnyalat úgy jön létre, hogy a kék fénynek az eredeti iránytól való nagyobb mértékű kiszóródása miatt a vörös komponensek maradnak meg.

Ha a részecskék mérete összemérhető a fény hullámhosszával, akkor a fény szóródásának hullámhosszfüggése megszűnik és létrejön a Mie-szórás, amelynek döntő részét a levegő sűrűségfluktuációi miatt fellépő szóródás okozza.

A levegőben lévő vízcseppek mérete igen széles határok között változhat 0,01 mikrométertől 100 mikrométerig. A körülbelül 0,5 mikrométernél kisebb sugarú cseppek erősebben szórják a rövidebb hullámokat, tehát hozzájárulnak a szórt fény kékes színéhez. Ha nagyobb cseppek is vannak a levegőben (pára, köd, felhő), akkor ez a szelektivitás eltűnik, a szórt fény fehérré válik. Ekkor az ég kék színe fehéressé válik (a párától), vagy szürkés-fehéres színű felhő, illetve köd jelenik meg. Extra nagyméretű részecskéken például erdőtűzből származó gyantacseppek által alkotott aeroszolon történő szóródás az ég színét zöldekékké teheti [7].

A mérőeszköz

Méréseinket Unihedron gyártmányú SQM (Sky Quality Meter) mérőműszerrel végeztük, amelynek fizikai elve a fényűrűségmérés. Az egyszerű felépítésű, kis helyet elfoglaló eszközt Magyarországon 2007 óta használják az éjszakai égbolt háttérfényességének mérésére. A mérőműszer két típusát használják a gyakorlatban, az SQM és az SQM-L jelzésű készüléket. A

kétfajta eszközt az különbözteti meg egymástól, hogy mekkora térszögből gyűjtik össze a fénysugarakat. Az SQM készülék nagyobb térszögből (1,5 szteradián, ami körülbelül egy 42 fokos félnyílásszögű kúpnak felel meg) méri és átlagolja a beérkező fény mennyiség fényűrűségértékét, míg az L jellel ellátott műszer (L = lencsés) kisebb térszögben dolgozik (20 fokos félnyílásszögű kúp). Ezt a második megoldású (SQM-L) készüléket (2. ábra) választottuk a méréshez, hogy Szekszárd város közelsége miatt a horizonton megjelenő közeli zavaró fények hatását minél inkább kiküszöböljük.

A készülék által mért fényűrűségek mértékegysége magnitúdó per szögmásodpercnégyzet ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), amely könnyen átszámítható cd/m^2 -re, (SI mértékegység) [8].

A méréssorozat

A gyártó kalibrálja a készüléket a hőmérséklet-ingadozáshoz, a méréshez szükséges kedvező körülmények azonban összetettek. A mérés akkor kezdődhet, ha holdmentes, derült éjszaka van, és a Nap már 18 fokkal a horizont alá kerül, és addig tarthat, míg a Nap az éjszakai útja folyamán újra 18 fokra meg nem közelíti a horizontot. A mesterséges fényforrások közelségét, amennyire lehetséges, kerülni kell. Városon belüli méréseknél – természetesen – ezt nem mindig sikerül tökéletesen betartani. Kerülendők még az olyan helyek is, ahol tereptárgyak (például fák) zavarhatják a műszer detektorát.

A mérések során a műszert a zenit felé irányítva elvégzünk öt mérést (3. ábra), amelyekből a feldolgozáskor az első kettőt figyelmen kívül hagyjuk (a műszer bemelegedése miatt ezek pontatlanabb értékek), a maradék hármat pedig átlagoljuk. A mérések helyszínének koordinátáit GPS-készülékkel határozzuk meg.

Méréseinket Szekszárd város egymástól viszonylag távol eső pontjain végeztük, mértük az éjszakai ég háttérfényességét, majd a szőlődombok közötti gyalogos éjszakai túrák alkalmával Szekszárd közvetlen környezetét is feltérképeztük.

3. ábra. A szakkör tagjai mérés közben.

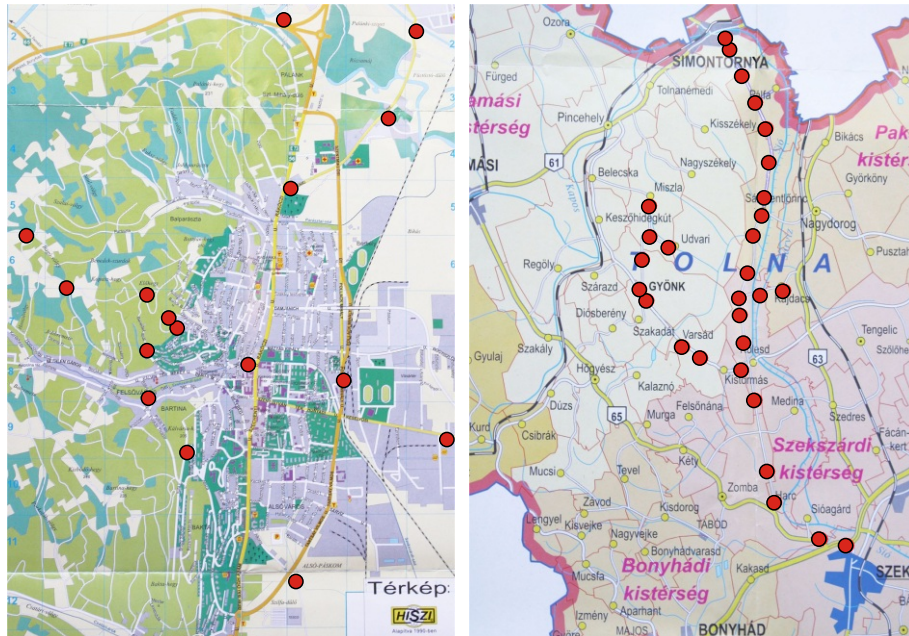


A Magyarország fényszennyezési viszonyait bemutató térképről leolvastuk, hogy a két magyarországi csillagoségboltpark (Zselic és Hortobágy) égboltjához közelítő minőségű égboltja lehet a Tolna megyei Hegyhátnak is, erről akartunk mérésekkel is meggyőződni. Hipotézisünk igazolására méréseket végeztünk (4. ábra). Több alkalommal, különféle útvonalakon, gépkocsival bejártuk a hegyháti területeket és több ponton megállva mértünk.

A nyári szünetben elvégzett méréseinket több tényező is nehezítette. Elsőként emlitem a természeti tényezőket: az időjárás kiszámíthatatlanságát, a Nap késői nyugvását és korai kelését, utóbbiak miatt a mérést gyakorlatilag csak az éjszaka közepén végezhetjük. Mindezek mellett a diákok egyéb nyári elfoglaltságai, a családi nyaralások is hátráltatták a munkát, továbbá az, hogy a megye távolabb fekvő területeire csak személygépkocsival lehetett eljutni.

Eredmények

Méréseinkkel kimutattuk, hogy a Zselici, illetve Hortobágyi Csillagoségbolt-parkokhoz hasonló minőségű éjszakai égbolt található Tolna megyében is, a Hegyháton (1. táblázat). A fizikai mérési eredménynél azonban fontosabbnak érzem a pedagógiai eredményt! Tanulóinkban felébredt az igény a mérések folytatására. A szakirodalomból ismeretes, hogy halsszemoptikával készült éjszakaiégbolt-felvételek segít-



4. ábra. Méréseink helyszínei – sötét pöttyökkel jelölve – Szekszárdon és a Hegyháton.

ségével kiegészíthetők és tovább pontosíthatók az SQM mérési adatok [9]. Ennek érdekében, pályázati forrásból beszerzett halsszemoptikáinkkal felvételeket fogunk készíteni a hegyháti területekről.

Méréseink befejezését követően 2014 nyarán lezajlott a közvilágítási fényforrások cseréje Szekszárdon.³ Izgalmas téma lesz újra végigmérni a városi és városkörnyéki helyszínekről az éjszakai égbolt háttérfényességét.

A fényszennyezés témaköre kiváló projektfeladatnak bizonyult. Alkalmas volt a biológiával és matematikával való tantárgyi koncentráció megvalósítására, a tanulók környezettudatos magatartásának erősítésére és nem utolsósorban komoly pedagógiai eredményként könyvelhető el a mérést végző kis csapat összekovácsolódása, lelkesedése és a „játszva” tanulás örömeinek megismerése.

1. táblázat	
Fényszennyezésméréseink eredményei	
mért területek	fénysűrűség (mag/arcsec ²)
Szekszárdi (központi részek nélküli) méréseink átlaga	20,4
Szekszárd szőlődombok felőli szélén mért érték	20,6
Szekszárd és a szőlődombok között mért értékeink átlag	21,0
Hegyhát területén mért háttérfényesség-értékek átlaga	21,1
Illancs területén végzett egész éjszakai észlelésünk eredménye (kalibrációs mérés)	21,0–21,5
A Hortobágyi Csillagoségbolt-park területének értékei (irodalmi adat)	21,0–21,5

Irodalom

1. Czákó Cs.: *Csillagos ég rezervátum a Hortobágyi Nemzeti Parkban és a fényszennyezés ökológiai hatásai.* (szakdolgozat) Debreceni Egyetem, Debrecen, 2011.
2. Szomráki P.: *Fényszennyezés-zajszennyezés.* (diplomamunka) Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Budapest, 2007.
3. Mizser A., Oláh K., Szabados L.: Korunk problémája, a fényszennyezés. in: *Csillagászati Évkönyv 1996.* Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 1995.
4. Varró M. J.: *A fényszennyezés emberi egészségre gyakorolt hatásai.* Országos Közegészségügyi Intézet, 2007.
5. K. Lorentz: *A civilizált emberiség nyolc balálos bűne.* Ikva Könyvkiadó Kft., Budapest, 1994.
6. Kolláth Z.: Mi is az a fényszennyezés? *Világítástechnikai Évkönyv 2002–2003.*
7. Rajkovic Zs., Illy J.: Az élő természet színei. *Fizikai Szemle 51/3* (2001) 76–80. és a borító.
8. www.uni-hedron.com/projects/darksky
9. Kolláth Z., Dömény A.: A kozmikus fény végzete. *Fizikai Szemle 65/4* (2015) 110–114.

³ A *Fizikai Szemle* 2015. áprilisi számának címlapján szerepel Szekszárd fényképének a világítási rekonstrukció előtt és után.