

SZAKDOLGOZAT

DOBOS JUDIT



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Környezettudományi intézet/

Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék

Környezetmérnök alapképzési szak

**Gödöllő mint agglomerációs kisváros 10 méteres
magasságlépcsővel mért fényszennyezésének a vizsgálata
digitális képelemzéssel**

Belső Konzulens: Dr. Barczy András
Egyetemi tanársegéd

Belső konzulens

intézete/tanszéke: Környezettudomány
Intézet/Környezetanalitika
és Környezettechnológia
Tanszék

Készítette: Dobos Judit
E0HHMS
Nappali

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1. Urbanizáció.....	3
2.2. Világítás története, fény, fényszennyezés és annak hatása	8
2.3. Távérzékelés	18
3. Anyag és módszer.....	21
4. Eredmények és értékelésük	27
5. Következtetések és javaslatok	36
6. Összefoglalás.....	37
7. Irodalomjegyzék	38
8. Ábra és táblázat jegyzék.....	43
9. Nyilatkozat	44

1. Bevezetés

Az 1500-as évektől elkezdett kitolódni a lefekvés ideje, és nőtt az igény az éjszakai fényre. A fények elterjedése jelentős mértékben javította a modern társadalmak éjszakai világítási körülményeit, és az éjszakai életminőség fejlődéséhez. Kezdetben ez a fény használat nem járt fényszennyezéssel, és ma sem lehet minden fényt fényszennyezésként kezelni. Azonban a túlzott és rosszul tervezett világításnak is vannak és egészségügyi hatásai, ami miatt egyre több tanulmányt vizsgál.

Az emberi egészségre gyakorolt egyik hatása az alvászavarnak kialakulása. Az éjszakai fényforrások túlzott mennyisége vagy a rosszul irányított fények, például a világító reklámok, megnehezítik az alvást, és a szervezet biológiai óráját zavarhatják, ami hosszútávon komoly egészségügyi problémákat okozhat. Az időssek esetén a depresszió kockázata is nőtt az éjszakai fényterhelés miatt. A változó megvilágítás és a nehezen alvó időszakok befolyásolják az időssek mentális egészségét.

Az állatokra és növényekre is jelentős hatást gyakorol. Az éjszakai világítás zavarhatja az állatok természetes viselkedését és navigációját. Például sok madár az éjszakai égbolt csillagjai és a hold által tájékozódik, de a fényterhelés miatt ezek nem vagy alig láthatók. A növények biológiai ciklusait befolyásolhatja az éjszakai világítás. (Csörgits és Gyarmathy, 2006, Lőrinc, 2016, Puskás, 2000, Kenji et al., 2013, Carolyn et al. 2023, Czaja és Kolton, 2022)

Szakedolgozatom témájának választásakor, azért választottam, hogy fényszennyezésről írok, mert tanulmányaim során nagyon keveset hallottam, vagy olvastam erről a fajta szennyezésről, mint a társairól, a víz-, a talaj-, vagy a levegőszennyezésről. De a diákéleten kívül sem láttam példákat arra, hogy mélyebben foglalkoznának ezzel a témával. Emellett, ahogy szülőfalumból a nagyvárosba költöztem, azt véltem látni, hogy amit otthon megszoktam az éjszakai felhőtlen látvány az a nagyvárosban „eltűnt”. Ahogy pedig egyre inkább bele vettem magam, hogy milyen hatással van az emberre, állatra és növényre, annál inkább érdekelni kezdett. Ezek összesége pedig felkeltette az érdeklődésem a téma iránt, ezért döntöttem úgy, hogy a szakedolgozatomban ezzel szeretnék foglalkozni.

A célkitűzésem az volt, hogy részletes adat- és képelemzést végezzek, a fényszennyezésről, Gödöllő város belterületének tíz pontján és hogy kapott adatokkal egy modellt állítsak fel.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Urbanizáció

Az urbanizáció egy latin szó, az „urbs” város töre épül, magyarra fordítva ez kettős értelemmel bír, az egyik a városodás, ami a városi jelleg erősödése a településhálózat egészében, a lakosság számarányának növekedése, gyarapodása. Kettős jellegű, végbe mehet a települések népességének városokba menetelével, vagy a községi települések várossá nyilvánításával. A másik értelmezés a városiasodás, ami állapotot jelentő, hogy a folyamatnak egy pillanatában hol tartanak. Átfogja a településrendszer egészének urbanizációs folyamatát, aminek a során a városok minőségi jellemzői terjednek el távoli térségekben, ez pedig gyökeres átalakulást idéz elő az adott helyen, ennek végén pedig várossá válnak (Rakita, 2013).

Az városiasodás értékét az urbanizációs ráta fejezi ki, ami egy százalékos érték, ez a városlakók arányát mutatja a teljes népességen belül. Néhány éve globálisan meghaladta az urbanizáció az 50%-ot. Ez a skála széles tartományon mozog. Vannak olyan országok, mint például Szingapúr és hasonló városállamok, ahol nyilvánvalóan 100%-os a városiasodás, de már több olyan ország is van, amiben az urbanizáció mértéke nagyobb mint 90%, ilyen Belgium, az Egyesült Királyság, Új-Zéland, Ausztrália, Argentína, Izrael és Izland. A fejlett országok többsége, beleértve az Egyesült Államokat és Oroszországot is, 70% feletti urbanizációs rátával rendelkezik, Magyarország is ezen a szinten van, míg Kína urbanizációs szintje 45%, Indiaé pedig alig 30% körül van. A fejlődő országok között is találunk olyanokat, ahol az urbanizáció mértéke 20% alatt van ilyenek például Nepál, Etiópia, Pápua Új-Guinea stb. A városiasodás még arra is utal, hogy a városias jelleg is terjed. Hiszen az urbanizáció során a korábbi központi funkciók felé vándoroltak az emberek, de ma már minden kis településen megtalálható a legtöbb olyan szolgáltatás, ami eddig csak a városokban volt található (Pirisi és Trócsányi, 2019).

Az urbanizáció modernkori folyamata kontinensenként eltérő volt. Az elmúlt évtizedek során Ázsiában, Afrikában és Latin-Amerikában gyorsan nőtt a városi lakosság aránya. Európa viszont kisebb növekedést mutatott ebben a tekintetben. 1950-ben Európa volt a városiasodás élharcosa, mivel a Föld városlakóinak jelentős részét adta, de 2011-re a helyzet megfordult. Ázsia városi lakossága hatalmas mértékben tapasztalt növekedést, és Afrikában is hasonló tendenciák figyelhetők meg. Latin-Amerikában a városi lakosság aránya is emelkedett. Az urbanizáció eredményeként ma a világ városlakóinak több mint fele Ázsiában él. A 20. század

utolsó negyedében megjelentek az új trendek az urbanizációban, mint metropoliszok kialakulása. 1950-ben csak néhány város lépte meg a 10 millió lakost, de 2015-re már 29 olyan város volt a listán, aminek lakossága ezt a számot meghaladta. Ázsiában a városok dominálnak, de az amerikai kontinens is erős. Európában az ilyen nagyvárossá válásnak tendenciái kevésbé jellemzők (Kovács, 2019).

Az urbanizáció folyamatát 1. ábra jól szemlélteti, leírja annak a négy időszakát, és röviden annak főbb jellemzőit.



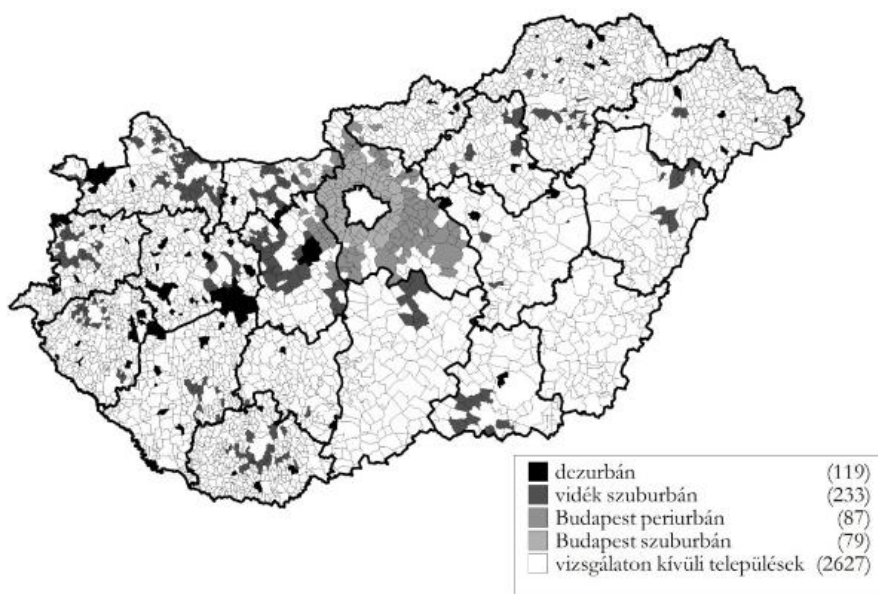
1. ábra: Az urbanizáció folyamata. (Forrás: Pirisi és Trócsányi, 2019)

Az első időszaka ahogy az 1. ábrán is látjuk az urbanizáció, azaz városrobbanás volt, amely rohamos városnövekedést jelent. Főként az ipari forradalomhoz és a fejlődés megindulásához kapcsolódik. Népesség tömörülés jellemzi, megindulnak a városok felé a falusi tömegek, így a gyorsan megnövekedett városokból, kialakulnak a nagyvárosok. A nagy népességű, megélhetést nem biztosító mezőgazdaságból tömegek választják a városokat menedékkül, anélkül, hogy a városokban megfelelő munkalehetőségek vagy ellátási infrastruktúra állna rendelkezésükre.

Ezt az időszakot követi a szuburbanizáció, ahol továbbra is a relatív dekoncentráció jellemző, viszont az ipari technológia fejlődött, a közlekedési viszonyok megváltoztak, a lakosság elvárásai megoszlanak így, más irányú mozgás jelei is beléptek. Kezdetben a központi város és a vonzáskörzetben lévő települések együtt növekedtek, azonban később a központi város növekedés csökkent, és megállt, a vonzáskörzetében pedig növekedés indult meg. Ebben a szakaszban mindkét irányú mozgás megfigyelhető. Az iparosítási hullám lezárult, és az ipar

átalakulása és a nem termelő ágazatokban való foglalkoztatás szerepe gyorsan nőtt. Nőtt az érdeklődés a kellemesebb környezetet adó városok és a környező települések felé. Egyre nagyobb szerepe volt az infrastruktúrának, ez teremtette meg annak az alapját, hogy a városi agglomeráció térségei is becsatlakozhattak a fejlődésbe (Fórián, 2007).

Harmadik időszak dezurbanizáció, a városnövekedés megállt, a falusi népesség száma növekedésnek indult. Így a városok és falvak civilizációs szintjei kiegyenlítődnek. Ennek a fordulatnak a magyarázata az, hogy megváltoztak a városi és vidéki gazdaság szerkezete és szervezete, valamint a társadalmi megítélés. Az iparnak a jelentősége a városokban csökkent, hiszen elterjedtek a soktelephelyű vállalatok, ezek a telepek pedig megjelentek a rurális térségekben. Ezek az új szerepek vidéken, megújult dinamizmusban adja a dezurbanizáció másik magyarázatát. Emellett a falusi turizmus, a környezetmegóvás, a kézműipari termékek iránti kereslet is új dinamizmust adhat ezeknek a térségeknek. A közlekedés és a távközlés fejlődése különösen nagy szerepet játszott abban, hogy a városi funkciók elterjedjenek más területekre. Ennek egyik feltétele az volt, hogy a falu és/vagy a város alapvető életkörülményei kiegyenlítődjenek (Enyedi, 2011). Dudás (2013) a szuburbanizáció és a dezurbanizáció folyamataival érintette települések önkormányzataival végzett egy kérdőíves felmérést Magyarországon, a 2. ábra mutatja a vizsgálatba bevont településeket. Az eredmények azt mutatták, hogy az önkormányzatok 70%-a azt érezte, hogy többen költöznek be a településre, 29%-uk vélekedett úgy, hogy a be- és az elköltözések mértéke azonos, és 1% nyilatkozott úgy, hogy az elköltözés több, mint a beköltözés.



2. ábra: A vizsgálatba bevont települések. (Forrás: Dudás, 2013)

Az utóbbi időben a szuburbanizáció fordítottja is megfigyelhető, a reurbanizáció, mivel az emberek belefáradtak a hosszú időt igénybe vevő utazásba, így többen visszaköltöznek a belvárosba (Rekettye et al., 2015). A város felújítása indul meg, így a belvárosi területek megtisztulnak, mind fizikailag, mind társadalmilag (Nagy, 2018).

Az urbanizációnak több káros környezeti hatása van. Az egyik környezeti hatása, hogy egyre több ember él egy viszonylag kis területen, ami a természeti erőforrások igénybevételéhez szükséges szennyező anyagok kibocsátásával és kezelésével jár. A felszíni és felszín alatti vizekből közüzemi kutakon keresztül jelentős mennyiségű vizet nyernek ki, ezt pedig a nagy mennyiségű kommunális és ipari szennyvizet is jelent, amiket keverten gyűjtenek. Ezt a vizet a szennyvíz kezelő és csatornázottság hiánya miatt a talajba szivároztatják, ami magas higiénés kockázatokat okoz. Emellett a probléma mellett még az illegális hulladék lerakása is szerepet játszik a talaj és a felszín alatti vizek szennyezésében. A közlekedési úthálózatnak, autóutaknak is van környezeti hatása, a szilárd burkolattal befedett talajfelszín megváltoztatja a vizek lefolyását és beszivárgását, illetve megváltoztatja még az alatta lévő talaj, víz és levegő viszonyait, valamint a víz felszín alatti útját és minőségét is. A közlekedési balesetek és haváriák veszélyeztetik a felszíni vizeket, például a veszélyes anyagokat szállító járművek baleseteivel vagy edények szállítása közbeni szivárgásával a környezetbe való jutásával (Fórián, 2007).

Ezek mellett még fontos megemlíteni, hogy a növekedő városok agglomerációja elnéptelenedik, a városokba meg növekedett ember tömeg miatt felborul a város és a természet egyensúlya, ez által az épített környezet aránya megváltozik, ez pedig a környezetterhelésének a növekedését okozza (Kovács, 2019).

2017. október 24-én Mohammed bin Salman koronaherceg, bejelentette a NEOM város elindítását a szaúd-arábiai Rijádban. Szaúd-Arábia északnyugati régiójában egy hatalmas üres területet választottak ki az új város felépítéséhez. Hegyekből, hosszú strandokból, sivatagból és csodálatos természetből áll. Ebben a városban mindent a semmiből kell kezdeni, hogy elkerüljék a hagyományos városi jellemzők megismétlését. A NEOM helyszínválasztás oka az, hogy itt rengeteg lehetőség van a fejlesztésre, és ezzel tudták elérni, hogy a NEOM a kereskedelem, az innováció központjává váljék. Ehhez kapcsolódóan Mohammed Bin Salman bejelentette, hogy a NEOM egy független gazdasági övezetként fog működni, saját szabályokkal, adókkal és szabályozásokkal és minden korlátozást eltávolítanak. Az elsődleges

cél az, hogy NEOM a legbiztonságosabb, leghatékonyabb, legjövő orientáltabb és a legjobb hely legyen, ahol az emberek dolgozhatnak és élhetnek.

Az 3. ábrán a „The Line” azaz A Vonal nevű épülete látható. A Vonal egy 170 km hosszú város, amely a NEOM hegyektől a sivatagi völgyeken át a Vörös-tengerig terül el. A tükrös építmény 500 méter magasan van a tengerszint felett, de csak egy 200 méter széles területen terül el. A különlegessége az, hogy teljesen más megközelítést alkalmaz a városfejlesztés terén. Itt nincsenek hagyományos utak, autók vagy károsanyag-kibocsátás. Az energia teljesen megújuló forrásokból származik, és a természetvédelemre is nagy hangsúlyt fektetnek, hiszen a föld 95%-át érintetlenül hagyják. A város tervezésénél az emberek egészsége és jóléte a legfontosabb szempont és az infrastruktúra is ennek a szellemében épül. A Vonal tehát egy olyan város, amely teljesen más, fenntartható és az emberek egészségét előtérbe helyező megközelítést alkalmaz a városi életre. A Vonal 9 millió embernek ad majd helyet, és mindössze 34 négyzetkilométernyi területre épül majd. A lakosok a nagysebességű vasúton kívül minden napi szükségleti cikkhez hozzáférhetnek egy ötperces sétán belül, a végponttól végpontig 20 perces tranzittal (<http1>).



3. ábra: Neom épülete a „The Line”. (Forrás: <http1>)

1500-tól kezdett kitolódni a lefekvés ideje Nyugat-Európában, a felsőbb rétegek megtudták engedni maguknak a gyertyát, és a kevés munka mellett nem kellett korán kelniük sem. A 18. századtól egyre inkább nőtt az igény az éjszakai fényre. A gyárak több műszakos munkát tudtak kialakítani, a módosabb emberek pedig el tudtak járni szórakozni. A 19. században a biztonságos körülményekhez is igényelték a fényt, létre jöttek huszonnégy órás ügyeletek,

rendőrség, tűzoltóság, a mentők, a hírközlés dolgozói. Ez az igény megteremtette az ipari korszak fényforrásait az új fények pedig hozzájárultak az életmód, az életritmus megváltozásához. A felkelés és a lefekvés ideje egyre inkább elszakadt a nap járásától. A mesterséges fényforrások használata kezdetben nem járt fényszennyezéssel, és ma sem lehet minden mesterséges fényt szennyezésként kezelni. A fény a 19. század végére olcsóbb és elérhetőbb lett, így a társadalmi különbségek csökkentek, és nőtt a fényhasználata. A 21. században pedig fényszennyezésről beszélhetünk (Lőrinc, 2016, Puskás, 2000).

2.2. Világítás története, fény, fényszennyezés és annak hatása

A tűznek fontos szerepe volt az emberiség fejlődésében, meleget adott, védelmet a ragadozók ellen, de elő segítette a tápanyagok emészthetőbbé tételét is, ez pedig serkentette az agyi működést. Egyes becslések szerint, a tűz antropogén előállítás, már 1,4 millió éve sikerült. A következő lépcsőfok a világítás fejlődésében Kr. e. 640-ben volt, amikor rájöttek az emberek, hogy napfény, egy tiszta kristály és valamilyen gyúlékony anyag (pl. elszáradt falevelek) segítségével pillanatok alatt tűz gyújtható. Majd 200 évvel később Kr.e. 406-ban megjelentek az olajmécsesek, ezek a mai elemlámpák ősei. Népszerű volt, hiszen a hozzá szükséges olajat a különböző földrajzi tájegységeken élő népcsoportok, a saját területi adottságaikhoz tudták igazítani. Ezt követte az újratölthető olajmécsesek, ezeknél használat közben is újra lehetett tölteni az olajat. Kr. e. 100 körül megjelentek a viaszgyertyák, különböző fáklyák, amik ekkor még csak vallási szertartásoknál voltak használatban ([http2](#)).

1800-ban Augustin Fresnel rájött, hogy a fény transzverzális hullám, Thomas Young pedig felismerte az interferencia jelenségét, ami

„Hullámok találkozásakor fellépő jelenség, ha egy pontban kettő vagy több hullám találkozik, akkor ebben a pontban a hullámok összeadódnak. Ha két azonos frekvenciával rezgő hullámforrás által kibocsátott hullámok adódnak össze, akkor a két hullám egy pontban erősítheti vagy gyengítheti egymást. Ebben az esetben időben állandó hullámkép alakul ki.”
(Kroó, 2006)

Az interferencia pedig lehetővé tette diffrakció, azaz a fényelhajlás és polarizáció értelmezését. A polarizáció

„Az a sík, amelyben a fény elektromos tere változik. Ha ez állandó, polarizált fényről beszélünk.” (Kroó, 2006)

Végül Maxwell lefektette az elektrodinamika teljes elméletét, hogy a fény az elektromos tér rezgése, ebből következik az optika minden törvénye. Aztán Heinrich Hertz kísérleti úton is bizonyította az elektromágneses terek létezését 1888-ban (Veszprémi, 2015). Ezáltal, hogy 1800-as években felfedezték az elektromos áramot, így a 19. században elindulhatott a feltalálás.

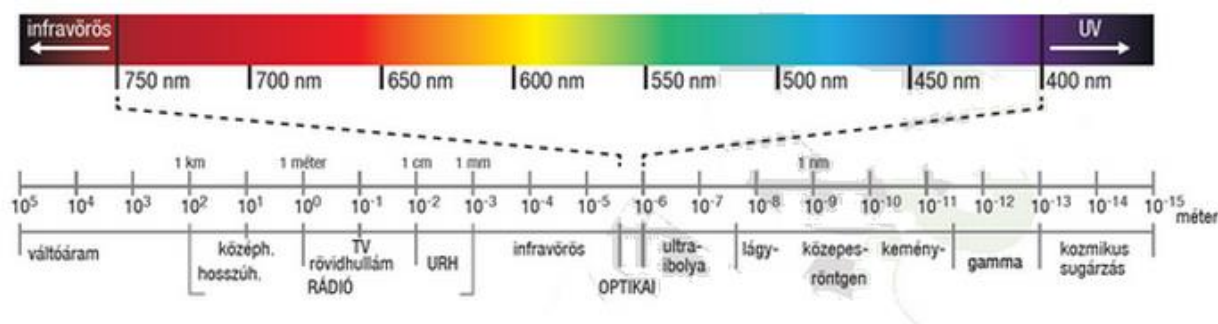
Humphry Davy 1802-ben felizzított egy vékony platinaszálát elektromos áram segítségével, ennek ereje nem volt nagy, sem tartós, kiindulási pontnak viszont megfelelő volt. 7 évre rá megalkotta a szénelektrodos ívlámpát, ezt 1848-ban tovább fejlesztették, a szénrúd nem égett le olyan hamar, ezzel pedig egy használható fényforrást sikerült készíteni. Joseph Wilson Swan 1881-ben elkészítette a cellulóz izzószálas izzót, és megalapította a Swan Electric Light Company-t. 1878-ban kifejlesztett egy eljárást is, ami meggátolta a búra elfeketedését. Thomas Alva Edison is elkezdett komolyabban foglalkozni az izzók kutatásával. 1878-ban megalapította az Edison Electric Light Company-t, New York-ban. 1879. október 22-én, izzója 13,5 órán át működött, ez volt Edison első sikeres kísérlete. Sokféle szénszál-előállítási módot próbáltak ki és szabadalmaztattak papírból pamutból és fából készült izzószálakat, majd később rájöttek arra, hogy a bambuszból készült izzószál képes akár 1200 üzemórát működni. Az elszenesített bambuszszál néhány száz voltos feszültséggel is használható volt. Alkalmas volt arra, hogy a háztartásokban elterjedjen a praktikus és biztonságos izzó eme formája.

1862-ben megépült az első világítótorony, Angliában, ami villanyfénnel működik. Szintén Angliában, azon belül is Londonban, kísérletképpen egy forgalmas útkereszteződésen gázlámpával működő jelzőkarokat helyeztek el, azonban a lámpa felrobbant. A második ipari forradalomban, 1880-ban fel találták a háromfázisú rendszert, ezzel messzebbre tudták vinni az elektromos áramot kábelben keresztül. Walther Nernst 1897-ben kifejlesztett egy lámpát, amihez nem volt szükség vákuumra, töltőgázra, és búrára sem. Dr. Just Sándor és Hanaman Ferenc - 1904. december 13-án Budapesten szabadalmaztatták a volfrám izzószál gyártási eljárását. Ezek fényesebben, és hosszabb élettartammal világítottak. 1913-ban Irving Langmuir felismerte, hogy ha a lámpát semleges gázzal töltik meg, akkor kétszeresére növelhető a hatásfok, és a búra feketedés is jelentősen csökken. Bródy Imre és csapata 1929-ben felismerte, hogy ha izzó buráját kriptongázzal töltik fel, az a jobb fényhasznosítást és hosszabb élettartamot biztosított. 1938-ban megjelent az első fénycső, 1956-ban először használnak úgy nevezett xenonlámpákat. Ezt pedig a halogénizzók követik, végül pedig a fényt kibocsátó diódák, a LED-ek. 1961-ben Bob Biard és Gary Pittman szabadalmaztatta a LED-et, ami a Light Emitting Diode, magyarra fordítva Fényt Kibocsátó Dióda. Ezt követően sok fejlesztésen esett át a LED.

Ifj. Nick Holonyak a fejlesztette ki az első, gyakorlatban használható, látható fényű LED-et, 1962-ben, 1972-ben pedig Jacques Pankove felfedezte a kék fényt kibocsátó LED-et (http2).

„A fény azonban sokkal több számunkra, mint a körülöttünk levő világ megismerésének eszköze.” (Kroó, 2006)

Az elektromágneses sugárzás töltött részecskék gyorsulásakor keletkeznek, széles hullámhossz tartománya van a gamma sugaraktól egészen a rádióhullámokig. Ennek a széles tartománynak, egy része pedig a látható fény, ami 390 nm és 750 nm hullámhossz tartományba eső elektromágneses sugárzás. Szemünk érzékenysége a látható fényterületre korlátozódik. Az 4. ábra mutatja a látható fény spektrumát (Kroó, 2006).



4. ábra: A látható fény spektruma. (Forrás: Kroó, 2006)

Hullámhosszuk (λ , egysége a méter) és frekvenciájuk (ν , egysége a hertz (Hz)) szerint különböztetjük meg az elektromágneses sugárzások fajtáit. E kettő között fordított arányosság áll fenn:

$$\nu = c/\lambda$$

Ahol

c - a fénysebesség (299 792 458 m/s),

ν - frekvencia,

λ - a hullámhossz.

1900-ban Max Planck megoldotta a fekete test sugárzásának a rejtélyét egy feltétel bevezetésével. A feltétel pedig az volt, hogy a fény nem folyamatosan, hanem kicsi adagokban, kvantumokban adódik át. (Veszprémi, 2015)

„Az egyes kvantumokhoz tartozó energia nagysága egyenlő a sugárzási frekvencia és az általa meghatározott Planck-állandó szorzatával” (Bácskay et al., 2006).

A „h” fizika univerzális állandói közé soroljuk, és Max Planck tiszteletére Planck-állandónak nevezzük (Csákány et al., 2009).

A fénymérés, vagy fotometria, foglalkozik a látható fény mérésével és felhasználásával, ami az előbb említett 390 nm és 750 nm hullámhossz tartományba eső elektromágneses sugárzást jelenti. Fotometria esetén öt fő mértékegységről beszélünk: a fényáramról, a fényerősségről, a megvilágításról, a fénysűrűségről, és színhőmérsékletről.

A fényáram (Φ) a fényerősség és a besugárzott térszög szorzataként definiáljuk, ennek mértékegysége a lumen (lm). Egy lumen azt jelenti, hogy egy kandela fényerősségű, pontszerű forrás 1 szteradián térszögbe kisugárzott fényárama.

$$1 \text{ lumen} = 1 \text{ cd} \times \text{sr}$$

Ahol:

cd-kandela,

sr – szteradián (a térszög SI mértékegysége).

A fényerősség (I) a fényforrás adott irányban kibocsátott fénykisugárzásának mértékét fejezi ki, mértékegysége a kandela (cd). A fényerősség a kis térszögben kibocsátott fényáram és a térszög hányadosa.

$$1 \text{ cd} = \text{lmsr}$$

A megvilágítás (E) a megvilágított felületre eső fényáram és a felület nagyságának hányadosa, SI mértékegysége a lux (lx). A lux azt méri, hogy egy adott felület mennyire van kivilágítva, vagyis mekkora fényáram jut 1 négyzetméter felületre.

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lmm}^2$$

A fénysűrűség (L) a szem által érzékelt fényhatás mértéke, ami egy világító vagy megvilágított felületről származik és a szembe érkezik. Leggyakrabban a felületre merőleges irányban mérik, de más irányban is megállapítható, ebben az esetben a felületnek a mérési irányra merőleges vetületét szükséges számításba venni. Mértékegysége:

$$1\text{L} = 1\text{ cdm}^2 = 1\text{ nit}$$

A fénysűrűséget úgy számoljuk ki, hogy a fényforrásnak a fényerősségét elosztjuk a mérési távolságból mért világító felülettel (Bergou et al., 2003).

A színhőmérséklet az ahogyan egy adott fényforrás milyen színérzetet kelt, ez pedig egybeesik az izzószál hőmérsékletével. Mértékegysége éppen ezért Kelvin [K]. Világítótest építések alapvetően háromféle színhőmérsékletet különböztetünk meg. Az egyik a 3300 Kelvin alatti, a meleg fény, ezt a színt leginkább pihenésre szánt helyiségekbe alkalmazzák. A 3300 és 5300 Kelvin tartomány közötti a természetes vagy semleges fehér, alkalmas olyan terekbe, ahol olvasunk, tanulunk, dolgozunk. A harmadik 5300 Kelvin feletti a hideg fehér, a korai LED-ek ilyenek voltak. A 5. ábra jól szemlélteti, hogy melyik fényforrás melyik tartományba tartozik (http3).



5. ábra: Színhőmérséklet tartomány/skála. (Forrás: http3)

A fény érzékelésének első lépése az, amikor az élőlény képes megkülönböztetni a fényt és sötétséget egymástól. A második lépcsőfoka az, amikor már képes azonosítani a fény intenzitását és annak a fény forrásának az irányát. A következő lépés a formák felismerése, az utolsó az, amikor már a színeket és a mozgást is képes érzékelni (Könczöl, 2002).

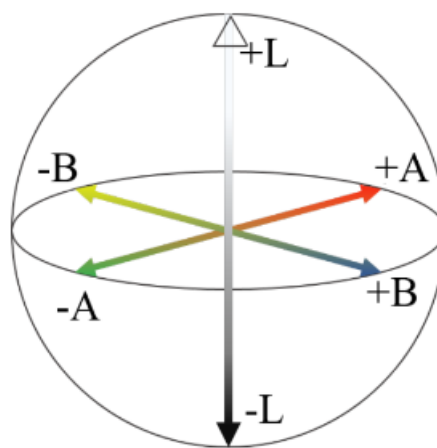
Az Magyar Szabvány 9620 számú cikkelye szerint a szín definíciója:

„A látható sugárzásnak az a jellemzője, amelynek alapján a megfigyelő a látótér két azonos méretű, alakú és szerkezetű, egymáshoz csatlakozó része között különbséget tud tenni, és ezt a különbséget a megfigyelt sugárzások spektrális eloszlásának eltérése okozhatja.”

A fény színességét nem csak az ember képes érzékelni, hanem az állatok is viszont a színtan tudományterületen a szín fogalom csak az emberi szem látásához társítjuk. Színmérésről csak

akkor beszélünk, ha olyan mérőeszközt vagy mérési módszert használunk, amely az ember színlátását modellezi, és számokkal leírja azt, amit az ember érzékel (Wenzel, 2013).

A CIELAB színkódolást (más néven $L^*a^*b^*$; LAB), a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság International (Commission Internationale de L'Eclairage, C.I.E.) adta meg 1976-ban mint egyenlőközü színteret. Ez a kódolás a színeket három érték segítségével fejezi ki, az egyik az L^* az érzékelhető világosság, és az a^* és b^* az emberi látás négy fő színe (vörös/bíbor-zöld, kék-sárga színpárokat (6. ábra)). Az LAB színtér előnye az RGB színtérrel szemben, mivel van egy különálló csatorna a világosság mérésére, hogy használható nemcsak kalibrációs folyamatok során, hanem olyan esetekben, amikor a világosság fontos a szín értékelésében (Ly et al., 2020).



6. ábra: A CIELAB színtér ábrázolása. (Forrás: Ly et al., 2020)

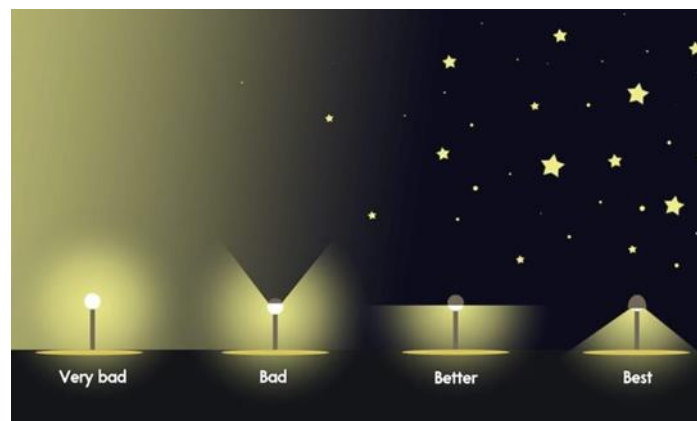
A mesterséges éjszakai világítás (angolul Artificial Light At Night-ALAN) a látási kíváncsalmakhoz képest nem a szükséges helyen és nem előnyös időben és mértékben, illetve nem megfelelő minőségű fénnyel valósul meg. A jogszabályban rögzített definícióból kiderül, hogy összetettebb jelenség, a „253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről” című jogszabályban a fényszennyezést így definiálják:

„olyan mesterséges zavaró fény, ami a horizont fölé vagy nem kizárólag a megvilágítandó felületre és annak irányába, illetve nem a megfelelő időszakban világít, ezzel káprázást, az égbolt mesterséges fénylését vagy káros élettani és környezeti hatást okoz, beleértve az élővilágra gyakorolt negatív hatásokat is.” (http4)

Ebben jogszabályban egyedül a fény minőségéről nem esik szó. A fényszennyezési határérték meghatározása pedig szinte lehetetlen (Árgay et al., 2020).

A fényszennyezés nem összeegyeztethető az egyre terjedő társadalmi igénnyel, az esztétikus és egészséges környezet iránt. Ez a probléma érinti mind a táj és a természetvédelmi, mind pedig a csillagászati érdekeket, és jelentős energiapazarlással jár. Az ökológiai fényszennyezés szélesebb fogalmat jelent, mint az asztronómiai fényszennyezés. Mivel ide tartozik minden olyan mesterséges megvilágítás, ami negatívan befolyásolja az ökológiai rendszereket, azok alkotóelemeit és a táj természetes képét (Csörgits és Gyarmathy, 2006).

A fényszennyezés fő oka a mesterséges fény szükségtelen vagy nem megfelelő használata. A 7. ábrán négy féle lámpa elhelyezést látunk. Az első lámpa a legrosszabb minőségű a fényirányítás, a fényhasznosulás és a felesleges megvilágított területek szempontjából, hiszen semmilyen árnyékoló nincs rajta. A második lámpára már helyeztek egy árnyékolót bár nem megfelelően, mert a felesleges világítás továbbra sem szűnt meg csak minimálisan csökkent, így ezzel továbbra is a lámpa fénye oda világít, ahol szükségtelen. A harmadik lámpa, az előzőkhez képest egy jobb opció lámpa lefedése szempontjából, már nem világítja meg az eget. A negyedik lámpa a legmegfelelőbb, mert azon olyan árnyékoló van, ami úgy fedi le a lámpát, hogy a szükséges területekre világítson.



7. ábra: A lámpa árnyékolók elhelyezése. (Forrás: <http5>)

A fényszennyezésnek többféle típusa van, mint a light trespass, a glare, a light clutter és a skyglow. A light trespass olyan fény eredménye, amely nem éri el a célját, vagy amely visszaverődik, miután elérte azt, vagy amelyet a forrás és a cél között lévő közeg szétszór: a fény "szétterül" (Schreuder, 1986). A másik formája a Glare, ekkor a fényforrás közvetlenül látható, és a fényforrás és a környezet közötti kontraszt zavarja az élő szervezetek éjszakai

látását. Ilyen például a télen erősen megvilágított sípályák, az utcai világítás, és különösen a különböző típusú világító reklámberendezések, főként a fényerejüket gyorsan változtató LED-es reklámtáblák. Clutter az, amikor a fényforrások száma meghaladja egy adott területnek a fény szükségletét. Ez a fajta fényszennyezés gyakran fordul elő parkokban, egyetemeken, de akár Nemzeti Parkok közelében, és sok üdülő központ és turisztikai látványosságnál is, mert ez az egymást átfedő világítás inkább dekoratív elemként szolgál (Tomasz, 2019). A fényszennyezés egyik legszembetűnőbb formája a skyglow, amely minden közeli és távoli fényszennyező forrásra kiterjed. A skyglow a felfelé vetülő, majd a Föld felszínére visszaszóródó fény eredménye, amely a mesterséges fénynek a légköri aeroszolokon való szétszóródásából ered. Ez a szóródás nagyon erősen függ a fény hullámhosszától, amikor a levegőben nagyon tiszta. A skyglow legelterjedtebb formája a fényszennyezésnek, hiszen a szétszóró fény olyan területekre is eljut, ahol egyébként a fényszennyezés egyik típusa sincs jelen (Tomasz, 2019, Kohei és Duco, 2004).

Lala et al. (2023) kutatásban a kilenc természetvédelmi területet vizsgálnak, Indonéziában. Kuningan Botanical Garden - Kuningan Regency, Nyugat-Jáva államában, Bosscha Observatórium - Lembang, Nyugat-Jáva államában, Timau Nemzeti Observatórium - Kupang, Kelet-Nusa Tenggara államában, Waduk Sermo - Kulonprogo Régió, Yogyakarta különleges régióban, Gunung Batur Geopark - Bangli Regency, Bali államában, Sewu Mountain Geopark - Kelet-Jávában, Rinjani Geopark - Lombok sziget, Délkelet-Ázsiában, Toba Lake Geopark - Észak-Szumátra tartomány, Indonézia és Belitong Geopark - Bangka Belitung tartományában. Kutatásuk két szakaszban zajlott, az első szakasz célja az elkészített lineáris modell pontosságának felmérése, képzési adatokban szereplő évek, a fényszennyezési adatok, a 9 vizsgálati terület koordinátái, valamint a képzéshez felhasznált évek népességi adatai alapján. A második szakasz az esettanulmány, ebben a trend alapján extrapolálták az adatokat a 2023-2042 közötti időszakra, hogy hogyan alakul a fényszennyezés. Az első szakasz eredménye azt mutatta, hogy több olyan terület is van, ahol az illesztési eredmények közel állnak a valós értékekhez. Szinte minden területen megnövekedett a fény intenzitás. A modell illesztése és a jó rövid távú eredmények elérése után hosszú távú előrejelzéseket készíthetünk, hogy lássuk a fényszennyezettségi szintek változását a kilenc esettanulmány helyszínén. A hosszú távú előrejelzések 2023 és 2042 között a fényszennyezés növekedését jelzik előre. Jimmy et al. (2023) Hongkong város két vegyes kereskedelmi és lakónegyedben, Mong Kok és Tsim Sha Tsui, négy épületet vizsgáltak meg fényszennyezési szempontból. A tanulmány célja az, hogy modellezési megközelítéssel vizsgálja a különböző lámpatestből származó fény

függőleges szóródását. Eredményeik azt mutatták, hogy az R^2 korrelációs érték javítható a modellben szereplő lámpatestek fizikai adatainak, például fényáramának vagy megvilágítási szögének beállításával, és a modellnek képesnek kell lennie a valóságot helyesen tükrözni, ha ez az érték eléri a 0,95-öt.

Koreában, Daejeon városában végzett tanulmányt Chan (2022) arról, hogy az épített környezet hogyan befolyásolja az éjszakai fényszintet a városi területek hálósobáiban. 28 résztvevő hálósobájában figyelték meg öt napon keresztül, hajnal 2:00-4:30 között. Az eredményeik azt mutatták, hogy a befolyásoló emeleteken a lakóterületek alapterülete növelte a beltéri megvilágítást, de az összes emeleten, beleértve a hálósobától függőlegesen távolabb eső szinteket is, a lakóterületek alapterülete nem. A fák lombkoronaszintjének aránya csökkentette a beltéri megvilágítást, vagyis a fák lombkoronája blokkolja a fényt. Ezek az eredmények alapján a lakóterületek függőleges elkülönítése hatékony intézkedés a fényszennyezés mérséklésére, különösen a nagy sűrűségű városi területeken, ahol a vízszintes elkülönítés nem megvalósítható. Komal et al. (2022) foglalkozott a fényszennyezéssel Indiában, mint egy növekvő környezetvédelmi probléma. Tanulmányában egy kérdőíves felmérést készített, amiben 358, 15 és 65 év közötti indiai lakos vett részt. A felmérésnek az volt a célja, hogy megtudják, hogy az emberek mennyire tájékozottak a fényszennyezés témájában. A felmérés megmutatta, hogy az emberek nincsenek tisztában a fényszennyezés környezeti veszélyével.

Az ipari forradalmat követően az emberi beavatkozások mértéke és hatósugara megnőtt a természetes környezet irányába. Az új felfedezések és találmányok számos olyan változást hoztak, amelyek hatással voltak, mind az emberre, mind a környezetre (Sipos, 1992).

„A fénynek nemcsak információforrásként, a látás révén van lényeges funkciója, hanem számos életfolyamatunkat befolyásolja. Az alvás és a napszaki ritmus szabályozásában különösen lényeges a szerepe.” (Lelkes, 2013)

Az ember elsősorban vizuális támpontokra támaszkodik tájékozódáshoz. A nappal és az éjszakák közötti különbség a fényerősségben tapasztalható, így a cirkadián ritmusok és a fényérzékelés folyamatai kapcsolatban állnak (Bódizs et al, 2010). A cirkadián ritmus szabályozásért a környezeti tényezők, különösen a fény és az endogén (melatonin) időzítők felelnek, ezek pedig a ritmust napról-napra újra ütemezik. A nappal és az éjszaka váltakozásához alkalmazkodik a szervezet, így minden élőlény szervezete, az emberé is, teljes sötétségben napszaktól független ritmusban működik. Ennek eredményeként az alvási ciklusok

előre- vagy visszatolódhatnak attól függően, hogy az endogén periódusuk rövidebb vagy hosszabb-e, mint a 24 óra. A melatonin, a tobozmirigy által, vérbe kiválasztott hormon, ami csak sötétben történik meg. Fontos funkciót tölt be az alvás és ébrenlét szabályozásában (Halmos és Suba, 2013).

2013-ban Kenji és munkatársai tanulmányt végeztek 516 idős embernél, az átlag életkoruk 72,8 év volt. Meg mérték, az éjszakai hálósobai fény és az ambuláns nappali fény intenzitását, és a Geriátriai Depressziós Skála segítségével értékelték. A Geriátriai Depressziós Skála egy olyan kérdőív, amit az időskorú emberek depressziójának az azonosítására használnak, ez a kérdőív általában 15-30 kérdésből áll és orvos vagy szakember értékeli, hogy az idősembernek milyen lelki állapotában van. (Szekeres és Hargitai, 2020) Az eredményeik azt mutatták, hogy az éjszakai fényexpozíció (LAN) kapcsolatban állhat a depressziós tünetekkel. A depressziós csoportban (n=101) magasabb volt a LAN-expozíció előfordulása (átlagos intenzitás ≥ 5 lx) a nem depressziós (n=415) csoporttal összehasonlítva.

Az emberek mellett, az állatokra és növényekre is hatást gyakorol a fény, Carolyn és munkatársai (2023) foglalkoztak a vándorló állatokkal, hogy mesterséges fény hatására milyen viselkedést mutatnak. A migrációra gyakorolt hatását figyelték meg, lokális, regionális és makroskálán. Több szempontból is negatívan érintette a vándorló állatokat lokálisan, neki ütköztek tornyoknak, ablakoknak és sok más építménynek. Regionálisan az eloszlásukat, gyakoriságukat befolyásolta a levegőben és a földön, csökken az összekapcsolódás, a makroszinten az égbolt ragyogása és a fényszennyezésnek való esetleges kitettség, ami zavarja őket. Megha et al. (2023) tanulmányában az India partmenti élőhelyein vizsgálta. Célja az volt, hogy azonosítsa az éjszakai fényességre gyakorolt jelentős hatásokat ezekben az élőhelyekben. Eredményeik szerint a folyóparti faunacsoport és a védett területeken belüli és azok közelében való jelenlét, jelentős meghatározó tényezője a fény. A 2012 és 2022 közötti nyolc év alatt a fényszennyezettség nőtt India folyómedencéiben és parti élőhelyein, ami riasztó, de nem meglepő, tekintve az ország gyors városi, ipari és gazdasági növekedését az elmúlt évtizedekben. Czaja és Kolton (2022) tanulmányában négy fa és négy cserje fajra összpontosítottak: *Tilia tomentosa*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica* 'Purpurea', *Acer campestre*, *Cornus alba*, *Lonicera pileata*, *Kerria japonica* 'Pleniflora' and *Spiraea × cinerea* 'Grefsheim'. Alacsony és közepes intenzitású fénnel kezelték a növényeket. A vizsgált fajok mindegyikét befolyásolta az éjszakai mesterséges fény. Gyorsabban fejlődtek a rügyek, fajtól függően, de akár 20 nappal is felgyorsított a levelek fejlődését, leginkább a *K. Japonica* esetében volt tapasztalható. A kísérletben alkalmazott fényszennyezési kezelések a T.

tomentosa, S. ×cinerea, K. japonica és A. campestre csúcsi gallyain mért oldható cukortartalom csökkenését eredményezték. Az alkalmazott fényszennyezés a kiválasztott fajok tavaszi fenológiáját és fiziológiáját érintette.

2.3. Távérzékelés

A távérzékelés egy olyan eljárás, amely során az érzékelő műszerek segítségével adatokat rögzítenek és gyűjtenek tárgyakról, területekről és jelenségekről azok közvetlen érintése nélkül. Az ezekről visszavert, vagy általuk kibocsátott sugárzást rögzítik. Az adatokat elemezni lehet, ezáltal pedig információkat kaphatunk az adatokból (Bácsatyai, Márkus, 2001).

A távérzékelés alapja az elektromágneses sugárzás spektrális jellemzőinek és a sugárzás változásának észlelése. Távérzékelés során különböző elveken működő érzékelőrendszerekkel készülnek képek. Energiaforrások alapján megkülönböztetünk passzív és aktív rendszereket. A passzív rendszereknél a szenzorok a természetes napfényt és a visszavert sugárzást használják, általában látható fény és közeli optikai sávokban (kb. 0,4-15 μm hullámhosszon), addig az aktív adatgyűjtő rendszereknél saját sugárzást bocsátanak ki, majd érzékelik a célpontokról visszavert sugárzást, általában a rövid hullámhosszú sávokon (kb. 0,0075-0,60 m hullámhosszon) (Komáromi, 2021).

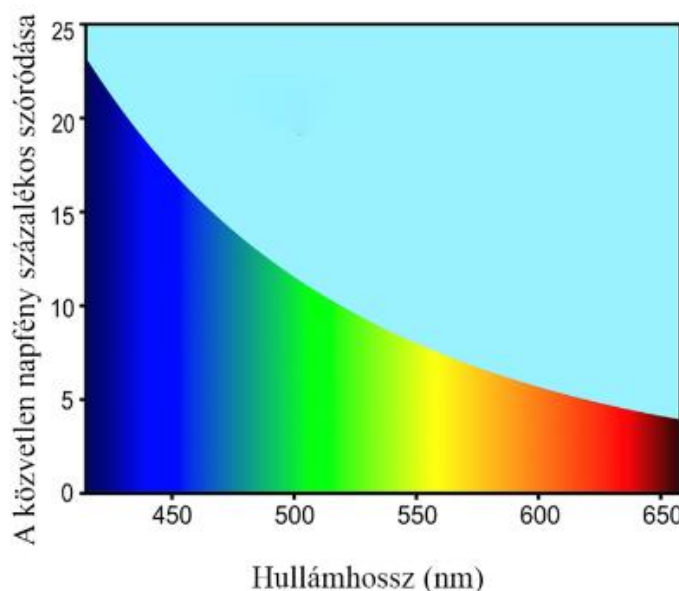
A felvétel helye szerint három csoportba sorolhatjuk távérzékelést. Az egyik a földi távérzékelés, erről akkor beszélünk, ha az adatrögzítő eszközünk a terepen vagy annak közvetlen közelében van. A másik a légi távérzékelés, itt az eszköz valamilyen légi járműre van rá helyezve, a földfelszíntől mért 100 métertől egészen 30 kilométerig terjed. Az utolsó az űrből való távérzékelés, ekkor 160 kilométer távolságból készítene felvételeket, ez a hordozó eszköz lehet űrhajó, műhold vagy űrállomás (Balázsik, 2010). A távérzékelést többféle területen is alkalmazzák, mint a legelőterületek állapotának a nyomon követése (Angus et al., 2023), vagy az háborús területek talaj tulajdonságainak a megfigyelésére (Maksym et al., 2023).

Több befolyásoló tényezője van, de távérzékelés nagy előnye a Schrödinger (1935) által leírt megfigyelői hatás, ami szerint minden mérés egyúttal beavatkozást jelent a vizsgált rendszerbe, de ezt a beavatkozást minimalizálni lehet. Azonban fontos megjegyezni, hogy sok befolyásoló tényező képes eltorzítani a rögzített információkat.

A távérzékelés felvételeit az évszak, napszak úgy befolyásolja, hogy ha napmagassága alacsony akkor kisebb a beeső fényáram, így a légkör zavaró hatása jobban érvényesül.

Rayleigh-szórásnak (Strutt, 1871) hívjuk azt a jelenséget, ha a légkörben lebegő részecskék átmérője kisebb, mint a sugárzás hullámhossza. Ez okozza a műholdképek homályosságát (Csató, 2000). A Rayleigh-szórás esetén a centrumok mérete akár a hullámhossz tizedét is elérheti. A véletlenszerűen elhelyezkedő elemi dipólusok elektromágneses hullámok fázisa véletlenszerűen változik, és ennek következtében a kibocsátott sugárzás inkohere. A szóródott fény intenzitása attól függ, milyen megfigyelési szög és hullámhossz. A Föld légkörében is megfigyelhető ilyen szórási jelenség, aminek következtében a napfény spektrumának a kék alkotóit hatékonyabban szórják a légkör molekulái, tehát a szórt sugárzásban a rövidebb hullámhosszúságú komponensek intenzívebbek. Az azonos intenzitású beeső fény, okán a 400 nm-es komponens 9,4-szer intenzívebb, mint a 700 nm-es komponens, ezért érzékeljük az égboltot kék színnel (8. ábra) (Beleznay et al., 1977).

A Rayleigh-szórás látványos példája az élettelen természetben a kék égbolt és a felkelő vagy lemenő Nap vörös színe. Ahogy a fény átjut a vastag levegőrétegen, a spektruma a rövidebb hullámhosszú sávban a szóródás miatt gyengül, ennek eredményeként a nagyobb hullámhosszúságú sáv intenzitása megnő. Ilyen körülmények között a Napot pirosas színűnek érzékeli a szem (Rajkovits, 2007).

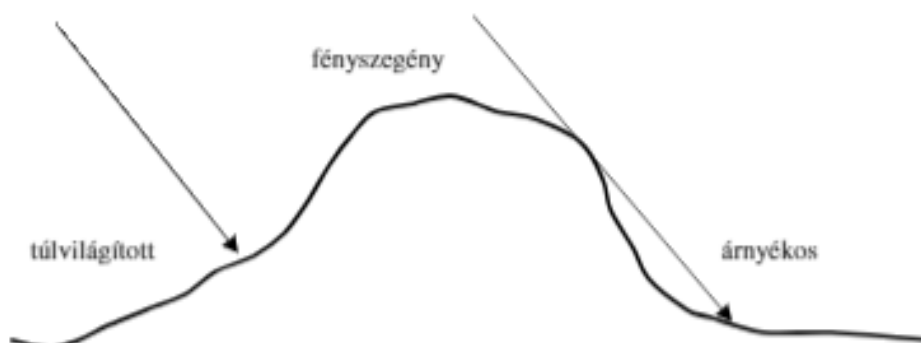


8. ábra: A közvetlen napfény százalékos szóródása a hullámhosszak függvényében. (Forrás: <http6>)

Az időjárási tényezőként leginkább a felhőzetet és annak elhelyezkedését értjük, mert ha az érzékelő magasságánál a felhőzet alacsonyabban helyezkedik, az takarja a felszínt. A magasan elhelyezkedő felhőzetnél a megvilágítás csökken és a légifelvételek felhőárnyékosak lesznek.

A 8 fokozatú skála szerint, 1/8 felhőfedettségénél sűrűbb felhőzet mellett nem szabad légi fényképezni. Az űrfelvételek jelentős része éppen a felhőzet miatt nem értékelhető ki. A turbulens légmozgás és erős szél a légifényképező műszert dobálja, ez pedig eltéríti, ennek eredménye a képdőlés, méretarány-változás.

Domborzat kettős hatású tényező, mert a megvilágítás irányába eső lejtők túlvilágítottak lesznek, ezzel ellentétbe, az ellenkező kitettségű lejtők fényszegények lesznek, vagy árnyékban maradnak, ahogy ezt a 9. ábra mutatja.



9. ábra: Alacsony napmagasság mellett az északi kitettségű hegyoldalak önárnyékosak. (Forrás: Bácsatyai és Márkus, 2001)

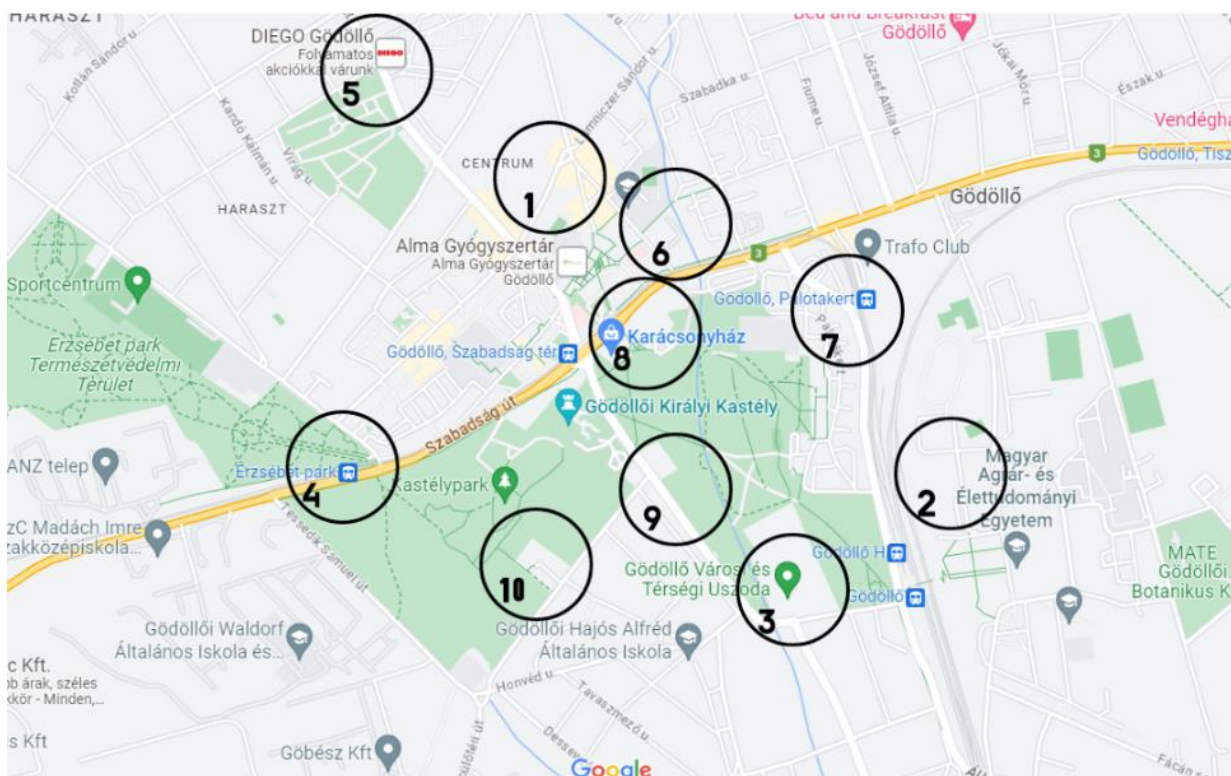
Az is befolyásoló, hogy az objektumok hol helyezkednek el a képfelvételeken, mivel nadírpontnak a közelében a képrészletek minősége jobb. A képnek a széle fele közeledve, a megvilágítás csökken a torzulás pedig növekszik a légkör és a leképző rendszer hibája miatt (Bácsatyai és Márkus, 2001).

Abu és munkatársai (2023) munkájukban egy új kezdeményezést mutattak be, ami egy multispektrális és többszögű távérzékelési platform a világítóberendezések megfigyelésére szolgál, sztratoszférikus léggömbökkel. A projekt célja, hogy a világítóberendezések spektrális és szögtulajdonságairól információkat szerezzen. Tingting és munkatársai (2023) Kínában éjszakai fénytávérzékelési adatok felhasználásával erőforrás-alapú városok átalakulásának folyamatát vizsgálja. 126 erőforrás-alapú városra összpontosított. Az erőforrás-alapú városok éjszakai fényének 2000 és 2020 közötti változása alapján megállapították, hogy 68 város folyamatosan bővülő városnak minősül, ami az erőforrás-alapú városok 53,96%-át teszi ki; 48 város folyamatosan stabil, ami 39,10%-ot tesz ki; és 10 város folyamatosan zsugorodik, ami mindössze 7,94%-ot tesz ki.

3. Anyag és módszer

A méréseket Gödöllőn belterületén végeztem. Gödöllő Pest megyében, a Rákos-patak partján, Budapesttől 30 kilométerre északkeletre, a Gödöllői-dombság völgyében fekszik. A Gödöllői-dombság a Pannon-medence észak-középső részén, a Dunától keletre helyezkedik el. A domborzati magasság 138 és 344 m tengerszint feletti magasság között változik, nyugat és délkelet felé lejt. A morfológiai jellemzőket tekintve a Gödöllői-dombságot az ÉNY-DK irányú Valkó- és Űri-hátak, valamint az Isaszegi-csatorna tagolja. 1900-ban Gödöllő lakossága 5,893 fő volt, míg 1960-ban már 17,693 főt számláltak. 2001-ben a város állandó lakosainak száma 29 445 főre nőtt, míg 2006. január 1-jén már 31 261 főt regisztráltak. A lakónépesség az elmúlt évtizedekben főként az iparosítás okozta környékbeli betelepülések miatt nőtt. Napjainkban a fővárosból történő kiáramlás is érezteti hatását.

Az 10. ábrán látható a mérések helyszínei: 1. Gödöllő Kossuth Lajos utca 2. Egyetem szökőkút, 3. Uszoda, 4. Erzsébet park HÉV, 5. Temető sarka, 6. Petőfi Sándor általános iskola, 7. Gödöllő palota kert megálló, 8. Művészetek háza, 9. Frédéric Chopin zeneiskola, 10. Pálmaház kertészet.



10. ábra: A tíz mérési helyszín (Forrás: Saját munka)

Tíz héten keresztül hetente 2 alkalommal készültek képfelvételek. Az 1. táblázat mutatja a 20 dátumon. A felvételek az időjárás miatt enyhét random időpontokon történtek az adott heteken belül, mert esőben, illetve erős szélben nem volt lehetséges felszállni a drónnal.

1. táblázat: Mérési dátumok. (Forrás: Saját munka)

Hónap	Nap	Óra
Május	31	22:32-02:45
Június	1	22:05-02:34
Június	2	23:10-02:58
Június	20	23:05-02:54
Június	21	22:24-02:26
Június	26	23:14-03:06
Június	30	23:08-03:00
Július	11	23:10-03:10
Július	17	22:20-02:14
Július	20	21:52-01:48
Július	26	22:17-02:26
Július	27	22:38-02:28
Július	31	21:56-01:58
Augusztus	10	23:00-02:50
Augusztus	13	22:20-02:58
Augusztus	14	22:24-02:57
Augusztus	22	23:16-03:03
Augusztus	24	22:23-02:42
Augusztus	25	22:45-02:30



11. ábra: DJI Air S2-es drón. (Forrás: <http7>)

A felvételek DJI Air S2-es drónnal készültek, a 11. ábrán ez látható. A drón akár 18,5 kilométerig is repülhet, és elérheti a tengerszint feletti öt km-es magasságot. Azonban fontos megjegyezni, hogy a magyar és az Európai Unió törvényei szerint ezekkel a készülékekkel maximum 120 méteres magasságban lehet repülni, hogy ne veszélyeztessék a légi közlekedést. A drón minimális repülési magassága 0,5 méter, ez alatt a gép automatikus landolási manővert kezdeményez. Egyetlen akkumulátorral, attól függően, hogy milyen erős a szél, a drón körülbelül 25-30 percet lehet a levegőben tartózkodni. A végsebessége 70 km/h, és a stabilizáló rendszer képes fenntartani a magasságot és az irányt, 10,7 m/s másodperc sebességű széllel szembe. A drónban egy LiPo 3S akkumulátor van, amely 3500 mAh teljesítményű és 42,42Wh fogyasztással rendelkezik. A drón saját súlya 595 gramm (akkumulátorral), és repülésre felkészített állapotban 180 mm x 253 mm x 77 mm méretű.

A kamera egy három tengelyű gimbal-stabilizátoron található, 90° és -24° között buktatható. A vibráció kilengés minimális, mindössze 0,01° alatt van. Az 1" CMOS érzékelő 20 megapixeles felbontással rendelkezik (5472x3648 képarány 3:2-ben), és lehetőséget nyújt a képek rögzítésére JPEG vagy RAW (*.DNG) formátumban. A lencse 88° zár be (széleslátószögű, a full-frame kamera megfelelője 22 mm), és a rekesz fix f/2,8 értékű. A kamera 10-bites színmélységgel rendelkezik, ami rendkívül pontos színeket biztosít, így könnyű a dinamikus elválasztásuk. A kamera sorozatmódban is használható, és másodpercenként két-három *.DNG kép elkészítésére képes.

A felvételek 0 és 120 méter (megengedett röptetési magasság) közt hajtottuk végre, 10 méteres magasság lépcsővel, azonban felszállási manőver végrehajtásokat a drón a saját LED lámpájával megvilágítja a maga alatt lévő területet, ez pedig torzította volna a felmérést. Az általunk kívánt terület alapos és pontos felméréséhez fontos volt, hogy a rögzített képek és

adatok ne legyenek hamisak a világítás okozta torzítás miatt, így az első felvétel 2 méter magasságában készültek, aminél a LED lámpa kikapcsol és nem világít maga alá. A felvételek rögzítése során, a drónt nem egy irányba tájoltuk, így a felszállási pontom a maximum magasságon kb. 100 méter sugárban történt a felvételezés.

A készült felvételek *.DNG veszteség mentes formátumban készültek, 10 bit színmélységgel, mérete 5464 * 3640 pixel volt, ami jelentős részletgazdagságot biztosított. A használt lencse fényerőssége f/2,8 volt, és látószöge 22,4 mm, ami megközelítőleg 90° látószöget takar le. Ez a lencse beállítás lehetővé tette a széles látószögű felvételek készítését. A felvételek során semmilyen szűrő vagy előtétlencse nem került felhelyezésre.

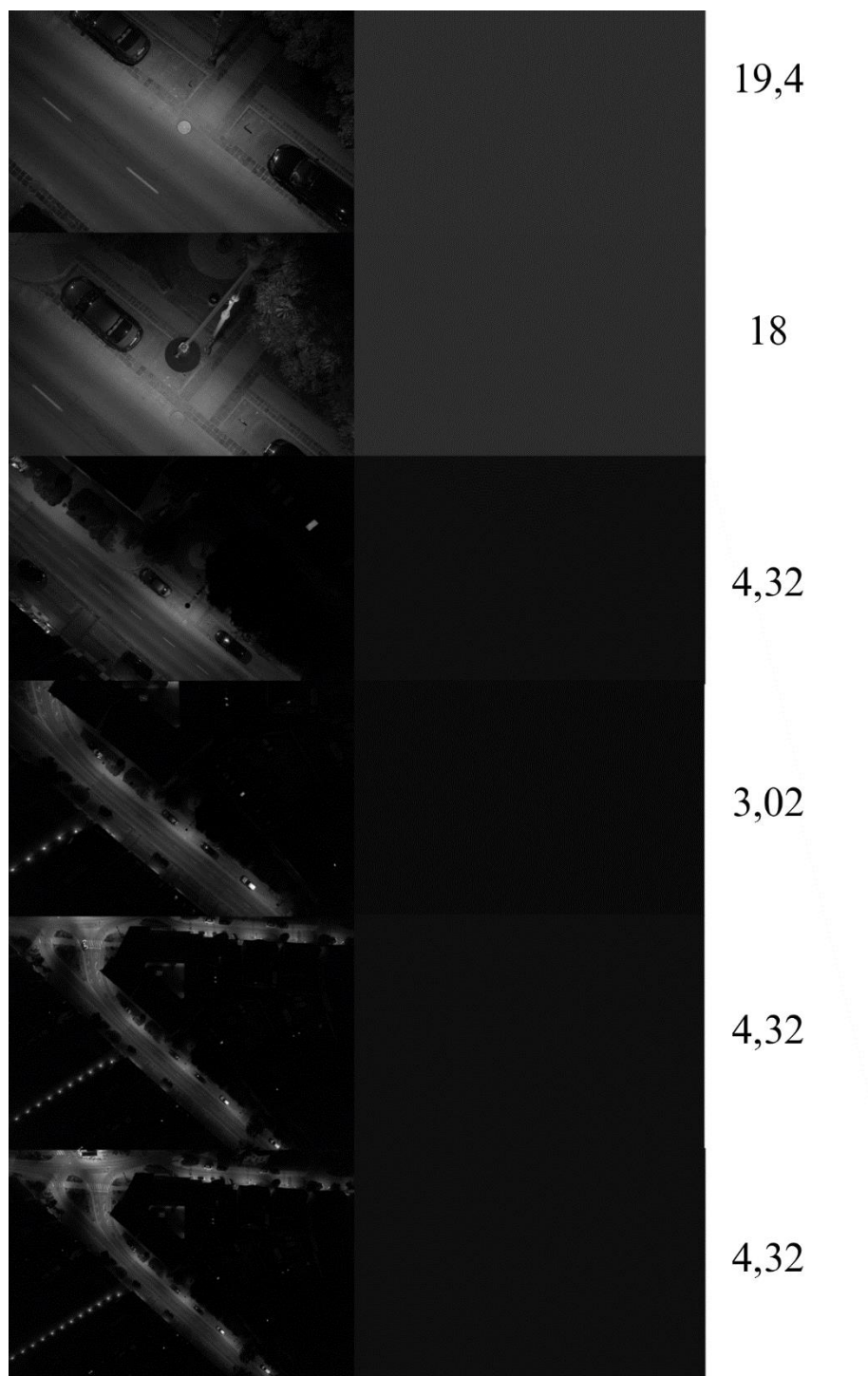
A felvételek készítése során a következő felvételi értékeket alkalmaztuk: a szenzor érzékenysége ISO 3200 volt, a zársebesség pedig 1/50 sec. Ez a magas ISO beállítás lehetővé tette a szenzor érzékenységének növelését, ami különösen hasznos lehet alacsony fényviszonyok között, míg a 1/50 sec zársebesség ideális lehet a megfelelő expozícióhoz és a képek élességének megőrzéséhez. A felvétel fehér egyensúlya pedig a következő: a hőmérséklet 3600 K, és a fényszín +28.

A felvételek elemzését fekete-fehér (HEX: #000000 - #FFFFFF) monokromatikus módban végeztem, mivel a színek jelenléte torzíthatja a világos pixelek arányát a képeken. A felvételek feldolgozását az Adobe Photoshop szoftver segítségével végeztem 10 bit színmélységben, ahol először a Camera Raw nevű pluginnal a szín- és fényhelyességet ellenőriztem, korrigálásra egy alkalommal sem volt szükség.

Ezt követően a képeket szürke árnyalatú monokróm módba konvertáltam, ami azt jelenti, hogy eltávolítottam a színeket. Ennek az volt a célja, hogy minimalizáljam a színek torzító hatását, és a képek egyszerűsített formában legyenek elérhetők az elemzés számára.

Ezután a képeken a pixel-átlagolást az Adobe Photoshop egy speciális scriptjével végeztem el. Ami egy olyan eljárás, amelyet a Photoshop szoftver segítségével lehet végrehajtani, és arra

szolgál, hogy egy adott képen vagy képsorozaton a pixel értékek átlagát számolja ki. Az átlagolás során a script a kiválasztott pixelértékeket egyesíti, majd kiszámítja az átlagos értéket.



12. ábra: A helyszíni képek, ezek pixel átlagolva, és mellette az értékük [...] (Forrás: Saját munka)

Ezt követően homogén területről színmintát vettem, és kapott hexadecimális kódot átszámítottam CIELAB értékekbe, ehhez a MATLAB szoftver SYNTAX: hex2rgb, majd SYNTAX: rgb2lab függvény alapján felépített NIX Color Pro Converter programot

használtam. Mivel a képek monokróm módban voltak, azaz csak fekete-fehér színeket tartalmaztak, az "ab" komponensekhez tartozó értéke mindig nulla volt, például:

$$\text{HEX}(2f2f2f) = \text{RGB}(47\ 47\ 47) = \text{CieLAB}(19,40\ 0,00\ 0,00)$$

Ezen lépések összessége lehetővé tette a képek színminőségének és átlag színének meghatározását a CIELAB színtérben, ami segített az elemzés során további információk kinyerésében és értelmezésében.

A számított értékeket Microsoft Excel táblázatban rögzítettem, felvételi magasságonként elrendezve. A pont grafikon készítésével vizuális elemzést végeztem annak érdekében, hogy megbizonyosodjon az adatok közötti összefüggésről és illeszkedésről.

Minden helyszínen 24 felvételt készült, 4-szeres ismétléssel, így összesen 96 felvétel készült helyszínenként, mindegyik mérési napon, tehát összesen helyszínenkénti 1920 mérésből, illetve mérési átlagból vonom le a következtetéseimet. Ahhoz, hogy ezt átlátható legyen, először az egyes felvételi időpontokhoz tartozó felvételeket átlagoltam, majd további átlagolást végeztem a felvételek helyszínének megfelelően. Az átlagolást a „=ÁTLAG(...)” függvénnyel végeztem. Az így kapott átlagértékeket ábrázoltam pontdiagramon, hogy könnyebben áttekinthessem és elemezhessem az adatokat. A grafikonokon a Microsoft Excel segítségével kiírtam a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, valamint a lineáris illeszkedés értékét. Az adatok vizuális vizsgálata során megfigyelhetővé vált, hogy nincs olyan mérési sorozat, ahol a lineáris trendvonal illeszkedése megfelelő lenne, és a pontthalmaz alapján a logaritmikus trendvonal mutatott jó illeszkedést, továbbra a pontthalmaz alakja is ezt az illeszkedést sejtette.

Végül, mivel a mért értékek bár fényértékben eltérőek voltak helyszínenként, hasonló görbét mutattak, ezért végül az összes eredményt is átlagoltam, erről az Eredmények és értékelésük fejezet végén írok bővebben.

Az átlagolás mellett szórást is számoltam minden felvételi napra, illetve később a helyszínekre mérten, hogy megbizonyosodjak a felvételek pontosságában, ezt a „=SZÓRÁS(...)” függvénnyel hajtottam végre.

4. Eredmények és értékelésük

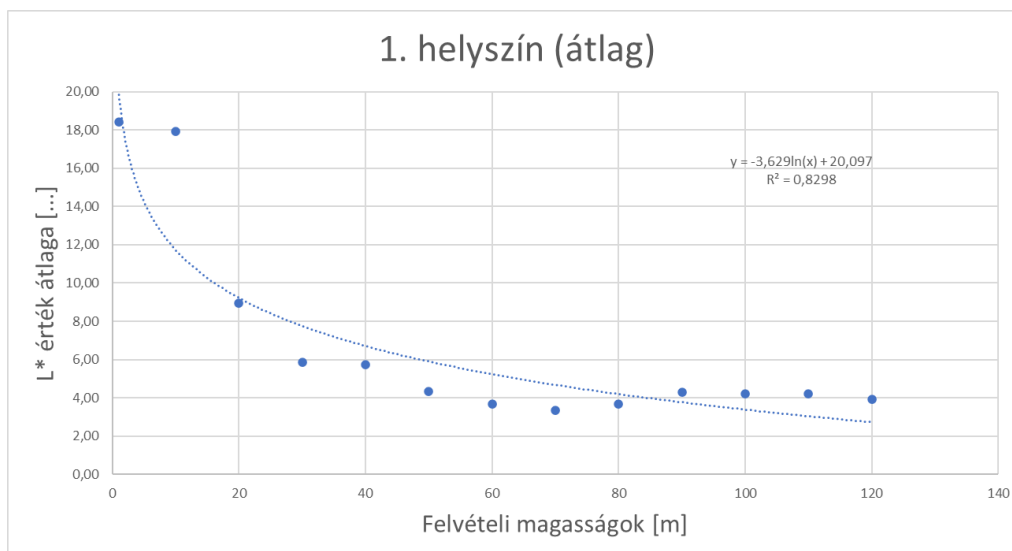
Az „Eredmények és értékelésük” fejezetben kerülnek bemutatásra a mérési eredményeim.

Közel 40000 adattal dolgoztam, a dolgozatomban már csak az kiértékelt eredményekre fókuszálok. Az első helyszín mérésének az első tíz adata látható a 2. táblázatban. Az első oszlopban a felvételi magasságok láthatók méterben, míg az első sorban a felvételek sorszámai olvashatók le. Látható, hogy a felvételek, az ugyan azon felvételi magasságban, szinte megegyezik, csak némelyik adat tér el, de az eltérés nem mutat relevanciát.

2. táblázat: Első mérés tíz adata. (Forrás: Saját munka)

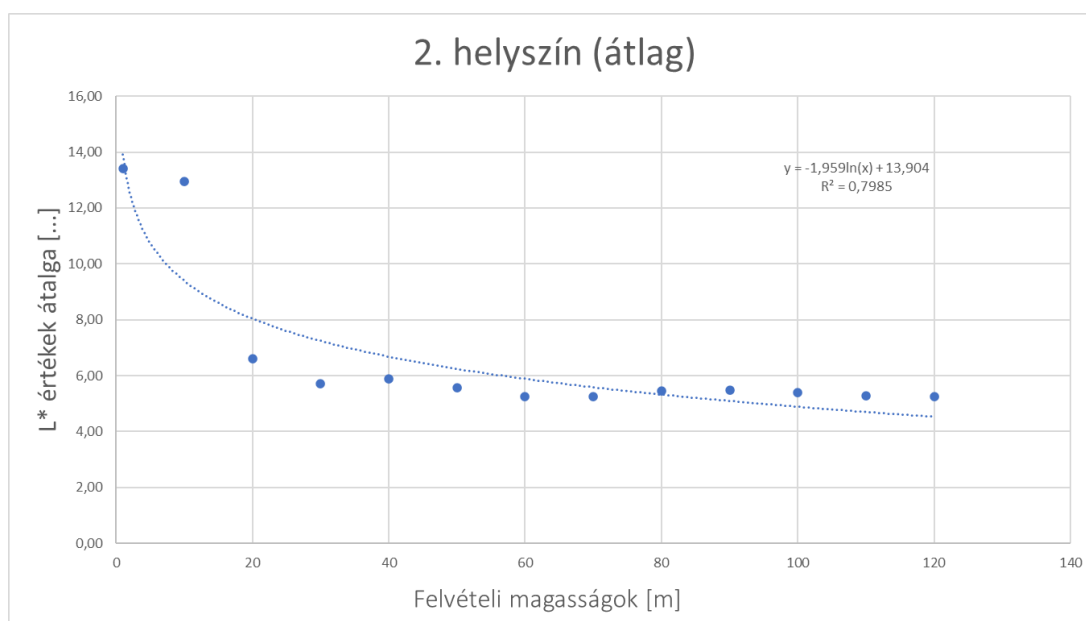
	1. felvétel	2. felvétel	3. felvétel	4. felvétel	5. felvétel	6. felvétel	7. felvétel	8. felvétel	9. felvétel	10. felvétel
1 m	18,47	18,47	18,47	18,47	18	18,47	18,47	18,47	18,47	18,47
10 m	18	18	18	18	17,53	18	18	18	18	18
20 m	8,76	9,26	8,76	9,26	9,26	8,76	8,76	9,26	8,76	8,76
30 m	5,88	5,88	5,46	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88
40 m	4,32	5,88	5,46	5,88	5,88	5,88	5,46	5,88	5,88	5,88
50 m	3,64	4,32	4,32	4,68	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
60 m	3,32	3,64	3,64	3,64	3,64	4,68	3,64	3,64	3,64	3,64
70 m	3,02	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32	3,32
80 m	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	4,68	3,64	3,64
90 m	4,32	4,32	4,32	4,32	3,97	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
100 m	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	3,97	3,97
110 m	4,32	4,32	3,97	3,97	4,32	3,97	4,32	4,32	3,97	4,32
120 m	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97	3,97

Az első helyszín a mérési adatainak az átlagolt eredményei a 13. ábrán látható. Ezeknek az átlagolt eredményeknek a szórása 0,11 és 0,37 közt van. Az x tengelyen a mérések felvételi magasságát jelöli méterben, míg az y tengelyen pedig az L^* érték átlaga, ez dimenzió nélküli szám. A pont grafikonon megjelöltem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 13. ábrán megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L^* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L^* értékek. Az is leolvasható a 13. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L^* értékeknél.



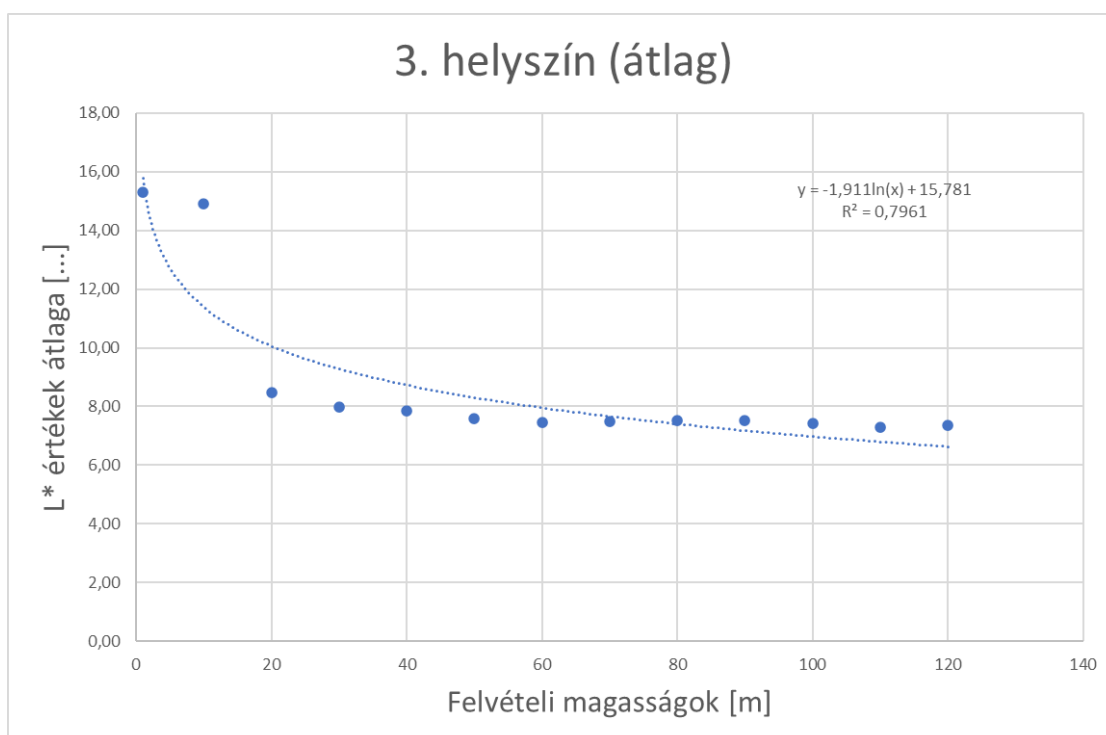
13. ábra: Az első helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A második helyszín a mérési adatainak az átlagolt eredményei a 14. ábrán látható. Ezeknek az átlagolt eredményeknek a szórása 0,00 és 0,38 közt van. Az x tengelyen a mérések felvételi magasságát jelöli méterben, míg az y tengelyen pedig az L* érték átlaga, ez dimenzió nélküli szám. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 14. ábrán megfigyelhető, hogy a körülbelüli két méter, és tíz méter magasságokon az L* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közötti magasságokon lévő L* értékek. Az is leolvasható a 14. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L* értékeknél.



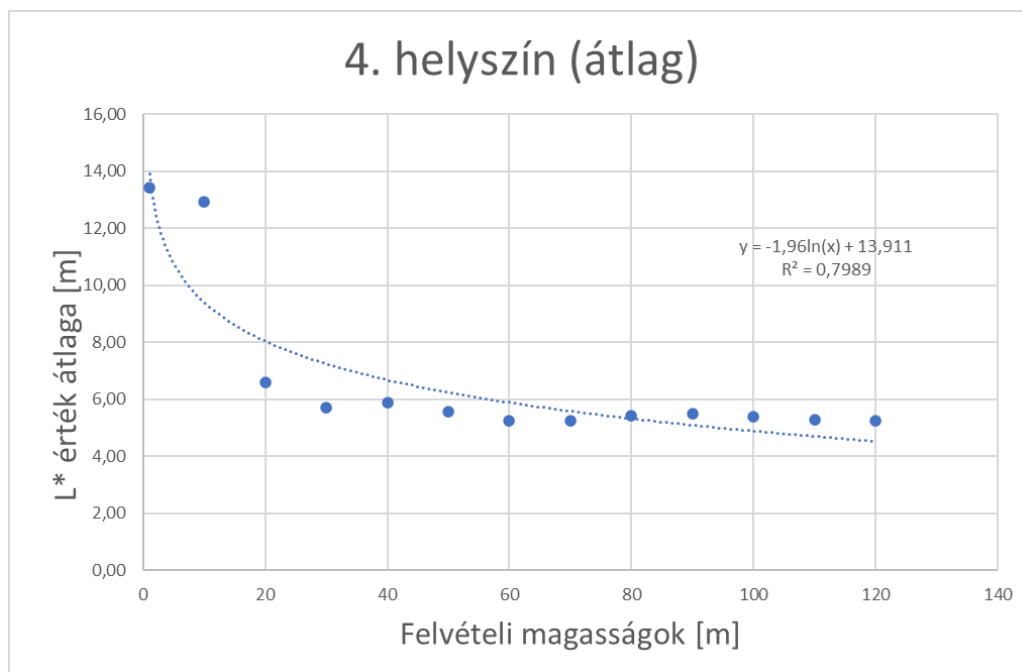
14. ábra: A második helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A harmadik helyszín a mérési adatainak az átlagolt eredményei a 15. ábrán látható. Ezeknek az átlagolt eredményeknek a szórása 0,15 és 0,50 közt van. Az x tengelyen a mérések felvételi magasságát jelöli méterben, míg az y tengelyen pedig az L* érték átlaga, ez dimenzió nélküli szám. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 15. ábrán megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L* értékek. Az is leolvasható a 15. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L* értékeknél.



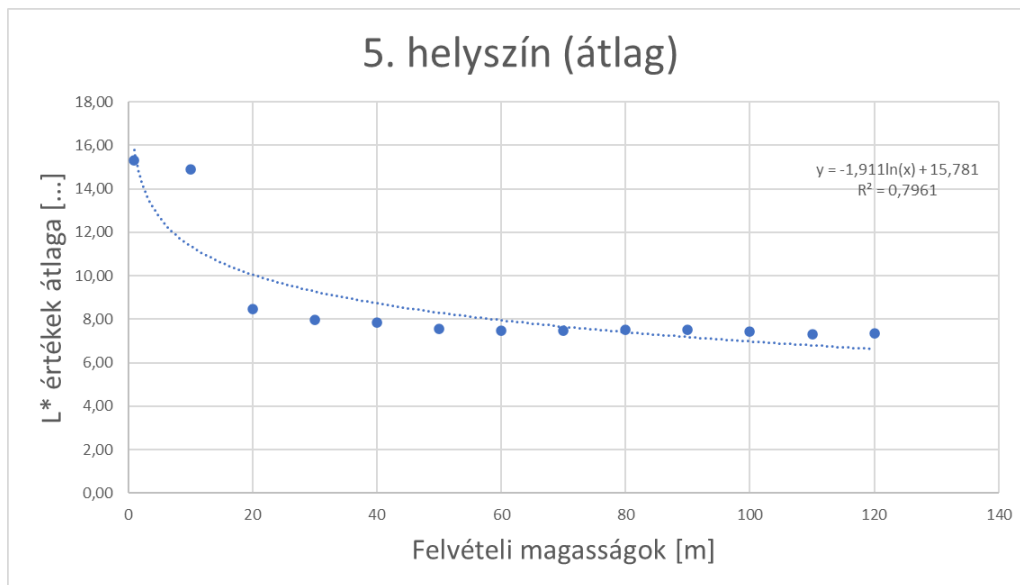
15. ábra: A harmadik helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A negyedik helyszín a mérési adatainak az átlagolt eredményei a 16. ábrán látható. Ezeknek az átlagolt eredményeknek a szórása 0,00 és 0,38 közt van. Az x tengelyen a mérések felvételi magasságát jelöli méterben, míg az y tengelyen pedig az L* érték átlaga, ez dimenzió nélküli szám. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 16. ábrán megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L* értékek. Az is leolvasható a 16. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L* értékeknél.



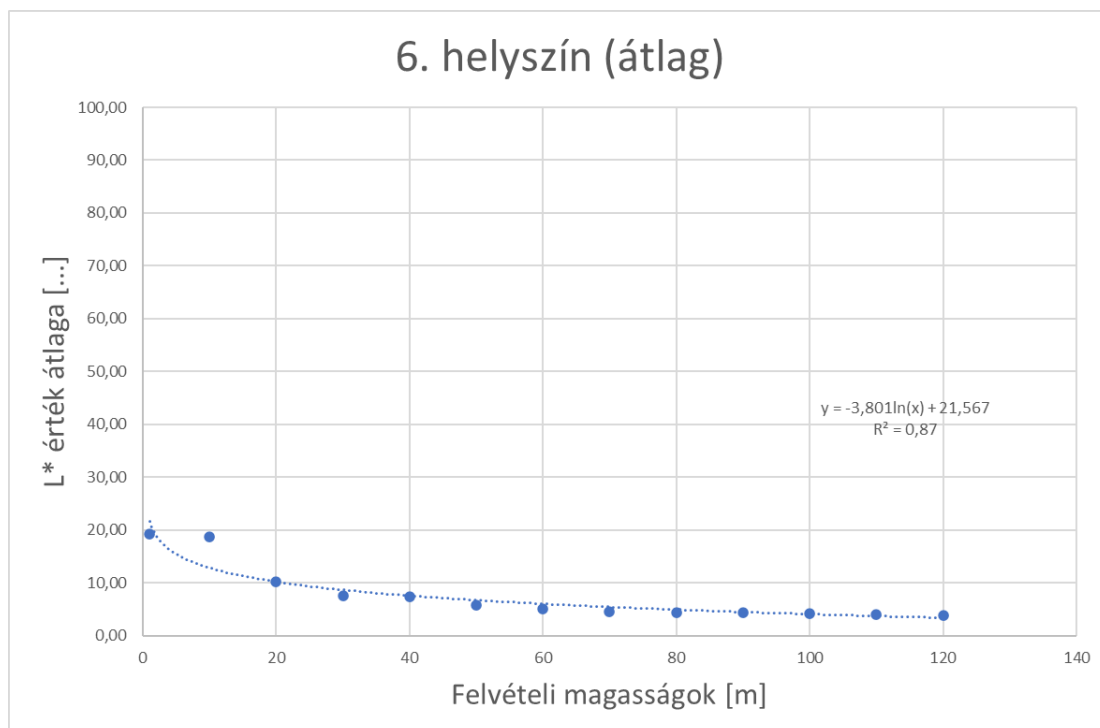
16. ábra: A negyedik helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A negyedik helyszín a mérési adatainak az átlagolt eredményei a 17. ábrán látható. Ezeknek az átlagolt eredményeknek a szórása 0,15 és 0,50 közt van. Az x tengelyen a mérések felvételi magasságát jelöli méterben, míg az y tengelyen pedig az L* érték átlaga, ez dimenzió nélküli szám. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 17. ábrán megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L* értékek. Az is leolvasható a 17. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L* értékeknél.



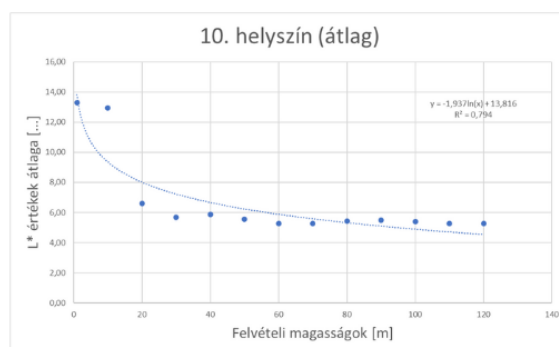
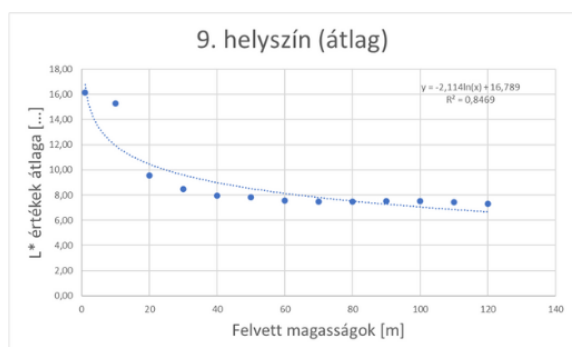
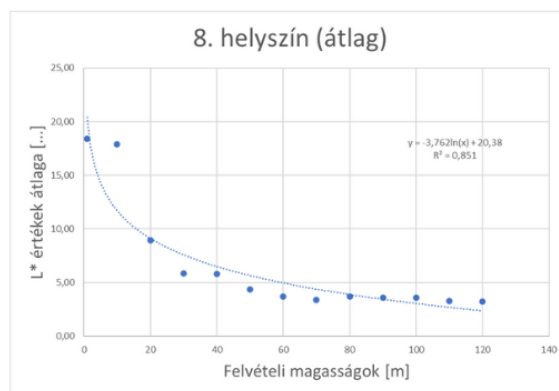
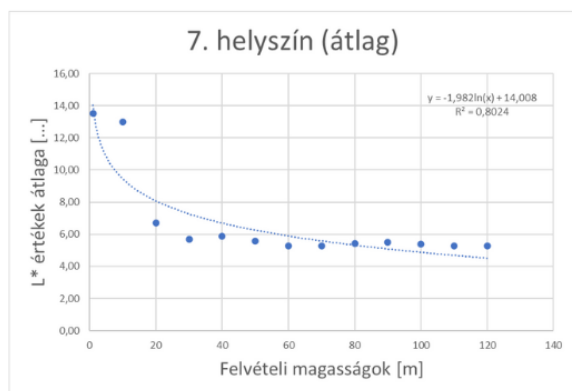
17. ábra: Az ötödik helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A hatodik helyszínnek a mérési adatainak átlagolt adatai láthatók a 18. ábrán, ennek a szórása 0,00 és 0,78 között van. A x tengelyen a mérések felvételi magassága látható méterben, az y tengelyen pedig az L* érték átlaga. Ez az ábra azért különbözik jelentősen az eddig bemutatott ábráktól, mert itt az y tengely az L* érték maximuma van megadva, ami a 100, mivel ez a legmagasabb L* érték. Ebből az látszik, hogy a világosság nem olyan nagy mértékű, vagyis inkább a sötétebb tartományban található, és magasságonkénti eltérés mértéke is szemléletesebb, továbbá látható, hogy a 60 méter feletti szórás nem igazán releváns. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 18. ábrán megfigyelhető a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L* értékek. Az is leolvasható a 18. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L* értékeknél.



18. ábra: A hatodik helyszín mérési adatainak átlaga. (Forrás: Saját munka)

A hetedik, a nyolcadik, a kilencedik és a tizedik pont grafikonokat egy összesítő ábrába helyeztem el, ez a 19. ábrán látható. Az x tengelyen a mérések felvételi magassága látható méterben, az y tengelyen pedig az L^* érték átlaga. A hetedik, a nyolcadik, a kilencedik és a tizedik pont grafikonon hasonló jelleg kirajzolódás látható. A pont grafikonokon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 19. ábrában lévő grafikonok mindegyikén megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter, és tíz méter magasságokon az L^* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon L^* értékek. Az is leolvasható a 19. ábrán lévő grafikonokról, hogy a 20 és 120 méter között, nem szignifikáns az eltérés az L^* értékeknél.



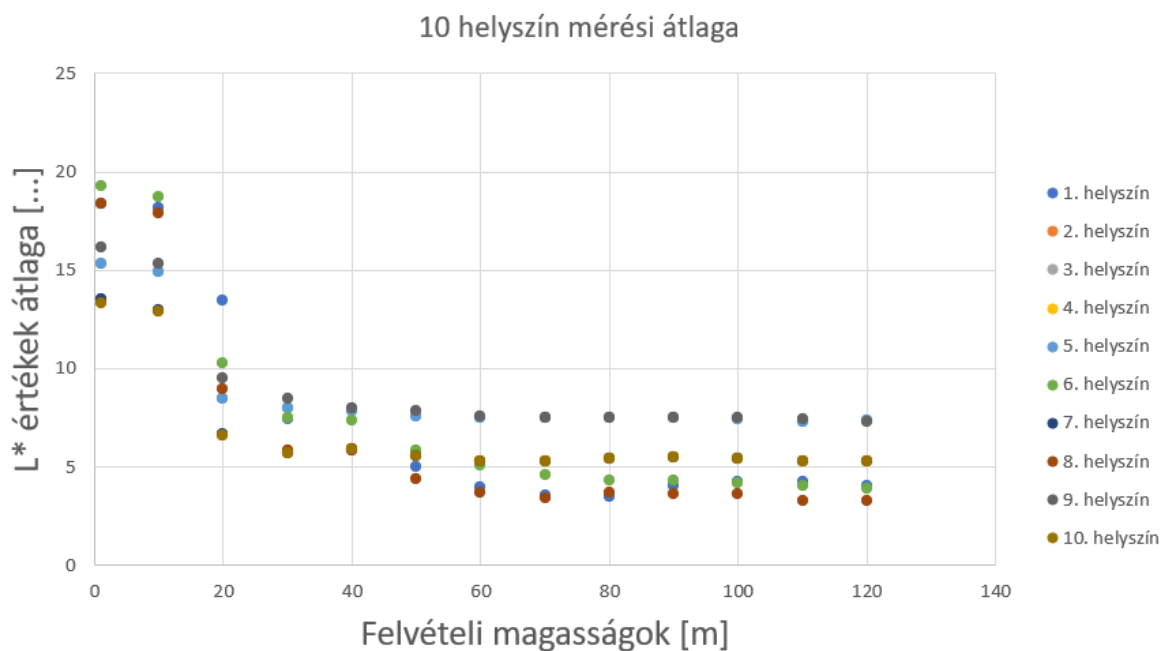
19. ábra: A hetedik, nyolcadik, kilencedik és tizedik helyszíni mérés adatainak az átlaga. (Forrás: Saját munka)

A tíz helyszínnek a mérés átlagait, egy táblázatban összesítettem. Ezt az összesítést a 3. táblázat mutatja. Az első oszlopban a felvételi magasságok láthatók méterben, míg az első sorban a felvételi helyszínek sorszámai olvashatók le. Látható, hogy a helyszínenként, az ugyan azon felvételi magasságban, megegyezik, vagy eltér, de nem drasztikusan.

3. táblázat: A tíz helyszín mérés átlagai. (Forrás: Saját munka)

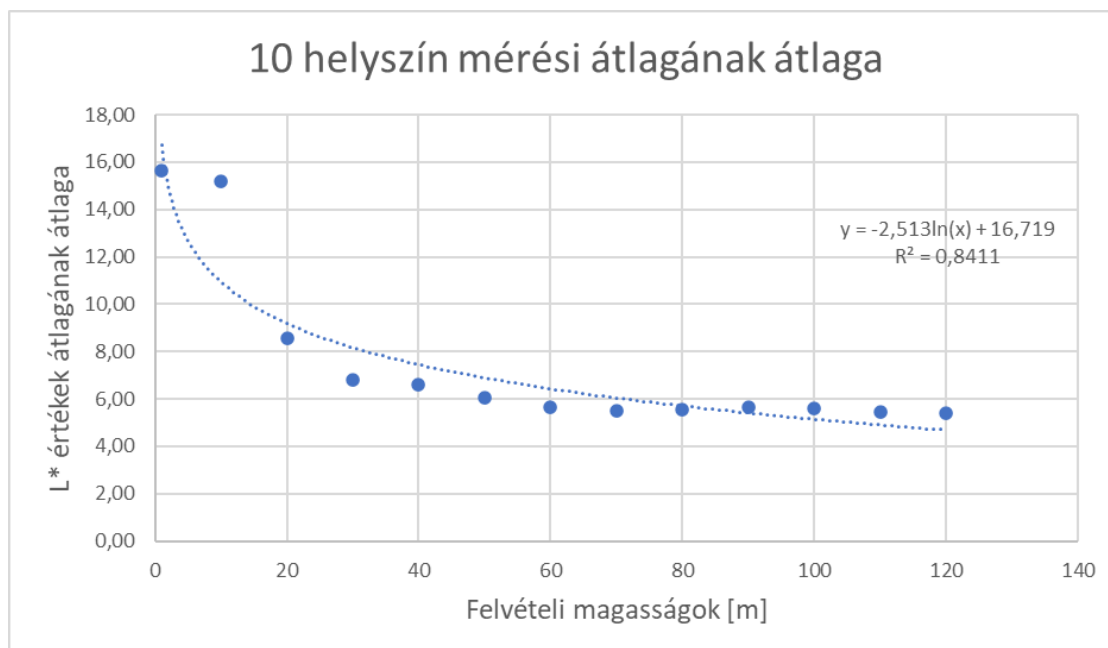
	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín	4. helyszín	5. helyszín	6. helyszín	7. helyszín	8. helyszín	9. helyszín	10. helyszín
1 m	18,40	13,42	15,30	13,43	15,30	19,26	13,52	18,40	16,14	13,30
10 m	17,91	12,94	14,90	12,94	14,90	18,75	12,98	17,91	15,30	12,94
20 m	8,96	6,59	8,48	6,59	8,48	10,27	6,69	8,96	9,54	6,59
30 m	5,84	5,70	7,97	5,70	7,97	7,50	5,69	5,84	8,48	5,70
40 m	5,74	5,88	7,85	5,88	7,85	7,35	5,88	5,82	7,97	5,88
50 m	4,32	5,57	7,57	5,57	7,57	5,82	5,57	4,36	7,85	5,57
60 m	3,68	5,26	7,47	5,26	7,47	5,10	5,26	3,69	7,57	5,26
70 m	3,34	5,26	7,50	5,26	7,50	4,59	5,26	3,40	7,47	5,26
80 m	3,69	5,44	7,52	5,44	7,52	4,32	5,44	3,67	7,50	5,44
90 m	4,29	5,48	7,52	5,48	7,52	4,32	5,48	3,61	7,52	5,48
100 m	4,20	5,40	7,42	5,40	7,42	4,16	5,40	3,59	7,52	5,40
110 m	4,20	5,28	7,30	5,28	7,30	4,06	5,28	3,29	7,42	5,28
120 m	3,91	5,26	7,35	5,26	7,35	3,89	5,26	3,25	7,30	5,26

A 10 helyszín átlagát a 20. ábrán pont grafikonban összesítettem. Az x tengelyen a felvételi magasságok láthatók méterben, az y tengelyen pedig a L^* értékek átlagai. A grafikon jobb oldalán pedig egy jelmagyarázat van, hogy melyik helyszín, melyik színnel van ábrázolva a grafikonon. A 20. ábrán megfigyelhető a körülbelüli két méter, és tíz méter magasságokon az L^* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L^* értékek. A 20. ábrán a helyszínek azonos görbét írnak le, és nincs szignifikáns szórás.



20. ábra: A tíz mérési helyszín átlaga. (Forrás: Saját munka)

A tíz helyszín felvételi magasságomként elrendezett átlagát is ki átlagoltam, amit a 21. ábrán látható, ennek az átlagolt eredménynek a szórása 0,95 és 2,20 között van. Az x tengelyen a felvételi magasságot jelöltem, méterben, az y tengelyen pedig az L^* értékek átlagainak átlagát, ami dimenzió nélküli. A pont grafikonon megjelenítettem a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, és a lineáris illesztési értéket. A 21. ábrán megfigyelhető a körülbelüli két méter, és tíz méter magasságokon az L^* értékek magasabbak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon L^* értékek. Az is leolvasható a 21. ábráról, hogy a 20 és 120 méter között nem szignifikáns az eltérés az L^* értékeknél.



21. ábra: A tíz helyszín össz átlagának átlaga. (Forrás: Saját munka)

5. Következtetések és javaslatok

A mérési sorozat, és a mért adatok kielemezése egy – agglomerációs helyszínen fényszennyezést mérő – kutatási sorozat eleje, a kutatás pedig modell állítási célt szolgál. Ehhez a kutatáshoz járultam hozzá alapos és részletes adatelemzéssel és képelemzéssel. A kutatás kitűzött célja, hogy magasságonként megismerhető legyen a fényszennyezést okozó világítások alakulása akár 120 méter magasságig, hiszen az urbanizáció egyik mellékterméke a magasba történő törekvés az infrastruktúrával. Kutatás szempontból kiemelkedően fontos az adatelemzés elmélyítése, illetve a képelemzés és a fényszennyezés fizikai paramétereinek korrelációs felmérése, vagy legalább ennek a lehetőségnek a feltárása.

Az általam mért adatok elemzése alapján azt figyeltem meg, hogy a különböző helyszínen mért adatok, és a belőlük készített grafikonok jellege hasonló. Ez arra enged következtetni, hogy a modell általánosan alkalmazható más városokban, falvakban is.

Az L^* érték az első két felvételkor volt magas, az első felvétel két méteren, a második felvétel tíz méteren történt. Ez a két magasabb érték azzal magyarázható, hogy két méteren a lámpa alatt készült a felvétel, tíz méteres magasságban pedig közvetlen közelében volt a drón a felvétel során. Mivel a grafikonon lévő 60 métertől egészen 120 méterig, az adatok szinte megegyező értékűek voltak, így elég akár csak 70 méteres emelkedés, a 120 méteres emelkedés helyett.

A változó szórás egyik lehetséges okozója az éjszakai közlekedés lehet, amikor a különböző gépjárművek fényforrásai különböző intenzitással világítanak, ami lehetővé teszi a fényviszonyok ingadozását, illetve még az olyan épületek is befolyásolhatják a szórás mértékét, ahol a tetőteret beépítették, és az ott elhelyezett lámpákat felkapcsolják, az udvarban lévő lámpák felkapcsolása is hasonlóképpen befolyásolja a mért értékeket, továbbá a fényreklámok változatossága és időbeni eltérése, például villódzása is tényező.

A logaritmikus illesztések mindig erős korrelációt mutatnak (minimum $R^2 > 0,75$), azonban ahhoz, hogy az illeszkedés pontosabb legyen a statisztikai módszerek kibővítését lenne érdemes alkalmazni; többfokú polinomiális trendvonal állításával olyan görbét lehet létre hozni a pont grafikonokon, erősebb illeszkedést mutathat.

A kutatás eredményei várható új perspektívákat nyitnak majd a fényforrás tervezése és a fényforrás felhasználásának optimalizálása terén.

6. Összefoglalás

Szakdolgozatom témaválasztásakor erős motiváló tényező volt a fényszennyezés mint környezetkárosító hatás alulreprezentáltsága. A tanulmányaim és a diákélet mellett a saját tapasztalataim is „rávilágítottak” arra, hogy a városi környezetben az éjszakai égbolt látványa eltűnik. Egyre többet olvastam, hogy milyen hatással is van a környezetre, és ránk emberekre. Ezek összessége pedig az, ami felkeltette az érdeklődésemet ezen a területen.

A drónfelvételek Gödöllő belterületén készültek, 0-120 méter között 10 méteres lépcsővel. Gödöllőn tíz helyszínen, májustól szeptemberig tíz héten át, heti kétszer történt mérés. A készült felvételek elemzését fekete-fehér monokromatikus módban végeztem, ezek feldolgozását Adobe Photoshop szoftver segítségével végeztem, a képeket pixel-átlagoltam, majd a kapott homogén területről színmintát vettem, és a kapott hexadecimális kódot átszámítottam CIELAB L^* értékbe. Ezeket az átszámított értékeket Microsoft Excel táblázatban rögzítettem felvételi magasságonként elrendezve. Ezeknek az értékeknek kiszámítottam az átlagát, és szórását, amit pont diagramba tüntettem fel. A tíz helyszín átlagait összesítettem a Microsoft Excel-ben és azoknak is kiszámítottam az átlagát és szórását, ezeket is megjelenítettem pont diagramon. A pont diagramon kiírtam a felvett trendvonal logaritmikus egyenletét, valamint a lineáris illeszkedés értékét.

A diagramokon megfigyelhető, hogy a körülbelül két méter és tíz méter magasságokon az L^* értékek magasabban vannak, mint a 20 és 120 méter közti magasságokon lévő L^* értékek. Az is leolvasható a diagramokról, hogy a 20 és 120 méter között, nincs szignifikáns eltérés az L^* értékeknél. A pont diagramok x tengelyen a mérések felvételi magassága látható méterben, az y tengelyen pedig az L^* érték átlaga. Egyedül hatodik mérés átlag diagramján látható az, hogy L^* érték maximuma 100, mivel ez a legmagasabb L^* érték. A legmagasabb L^* érték 19,4, ami a hatodik helyszínen rögzített méréshez tartozik. Összességében az adatok szórása 0,00 és 0,78 között van.

Ezekből az eredményekből arra a következtetésre jutottam, hogy az adatok és grafikonok korrelálnak, annak ellenére, hogy városrendezési eltérések vannak a helyszínek között. A változó szórást az éjszakai közlekedés és az épületek különböző fényforrásainak változása okozhatja.

7. Irodalomjegyzék

1. A. Retallack, G. Finlayson, B. Ostendorf, K. Clarke, M. Lewis, (2023.) Remote sensing for monitoring rangeland condition: Current status and development of methods, Environmental and Sustainability Indicators, Volume 19.
2. Ágay Z., Dr. Boldogh S., Dr. Csuzdi Cs., Dr. Egri Á., Gyarmathy I., Dr. Gyurácz J., Dr. Horváth G., Dr. Kolláth Z., Dr. Kriska Gy., Némethné dr. Vidovszky Á., Novák R., Nyitrai Z., Pádárné dr. Török É., Péntesné dr. Kónya E., Száz D., Dr Varga J., (2020.) A fényszennyezésről-világosan! Kiadó: Agrárminisztérium Környezetügyért Felelős Államtitkárság és Hortobágyi Nemezeti Park Igazgatóság, 5-17. o.
3. Bácsatyai, L., Márkus, I., (2001.) Fotogrammetria és távérzékelés Tankönyvpótló segédlet az erdőmérnök hallgatók részére. Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron.
4. Bácskay A., Csorba Cs., Hegyi W. Gy., Katona A., Kozári J., Salamon K., Zakar P., (2006.) Világtörténet, Akadémiai Kiadó, Budapest.
5. Balázsik, V., (2010.) Fotogrammetria 1. A távérzékelés fogalma, a fotogrammetria és a távérzékelés kapcsolata. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kara, Székesfehérvár.
6. Bergou, J., Erostyák, J., Kozma, L., Pintér, F., (2003.) Fénytan - Relativitáselmélet – Atomhőfizika - Általános fizika III. Ludovika Egyetemi Kiadó Nonpr.Kft, Budapest.
7. Bódizs R. és Purebl Gy. és Rihmer Z., (2010.) Hangulat, hangulatingadozások és depresszió: a cirkadián ritmusok szerepe. Neuropsychopharmacologia Hungarica. [K.n., H.n.]
8. C. S. Burt, J. F. Kelly, G. E. Trankina, C. L. Silva, A. Khalighifar, H. C. Jenkins-Smith, A. S. Fox, K. M. Fristrup, K. G. Horton, (2023.) The effects of light pollution on migratory animal behavior, Trends in Ecology & Evolution, Volume 38, Issue 4, Pages 355-368.
9. C. Yong Sung, (2022.) Examining the effects of vertical outdoor built environment characteristics on indoor light pollution, Building and Environment, Volume 210.
10. Csákány A., Flórik Gy., Gnädig P., Holics L., Juhász A., Sükösd Cs., Tasnádi P., (2009.) Fizika, Akadémiai Kiadó, Budapest.
11. Csató É., (2000.) Műholdadatok térképészeti alkalmazása (PhD). ELTE, Budapest.
12. Csörgits G., Gyarmathy I., (2006.) A fényszennyezés természetvédelmi- ökológiai aspektusai, Világítástechnika, elektrotechnika 2006. 9.szám 22-23 oldal.

13. D. Renáta, (2013.) A szuburbanizáció és a dezurbanizáció folyamatai Magyarországon az érintett települések önkormányzatainak szemszögéből, „Az SZTE Kutatóegyetemi Kiválósági Központ tudásbázisának kiszélesítése és hosszú távú szakmai fenntarthatóságának megalapozása a kiváló tudományos után-pótlás biztosításával” című TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0012 azonosítószámú projekt támogatja.
14. Dr. D.A. Schreuder, Leidschendam, (1986.) Light trespass: causes, remedies and actions, Institute for Road Safety Research SWOV, The Netherlands Paper presented at the CIE/MBE symposium "Lighting and Signalling for Transport", Budapest, 22-23 September.
15. Dr. R. Rajkhowa, (2012.) Light Pollution and Impact of Light Pollution, International Journal of Science and Research, Volume 3 Issue 10, October 2014, 861-867 oldal.
16. Dr. W. Klára, (2013.) Színtan, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék.
17. Enyedi Gy., (2011.) A városnövekedés szakaszai – újra gondolva, Tér és társadalom 25. évf., 1. szám.
18. F. Falchi, P. Cinzano, C. D. Elvidge, D. M. Keith, A. Haim, (2011.) Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility, Journal of Environmental Management, Volume 92, Issue 10, Pages 2714-2722. M. Cao, T. Xu, D. Yin, (2023.) Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations, Journal of Environmental Sciences (China), Volume 127, May 2023, Pages 589-602
19. Fórián S., (2007.) Urbanizációs folyamat és annak néhány hatása a környezetre, Debreceni műszaki közlemények 2007/1, Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Műszaki Főiskolai Kar Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék.
20. Halmos T. és Suba I., (2013.) A napi ritmus szerepe és jelentősége a klinikumban. Magyar Tudomány, 2013/1 96-102 oldal.
21. J. C.K. TONG, A. H.L. WUN, T. T.H. CHAN, E. S.L. LAU, E. C.F. LAU, H. H.K. CHU, A. P.S. LAU, (2023.) Simulation of vertical dispersion and pollution impact of artificial light at night in urban environment, Science of The Total Environment, Volume 902.
22. K. J Navara és R. J Nelson, 2007. The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences, Journal of Pineal Research 43(3):215-24 Source: PubMed.
23. K. Kaushik, S. Nair, A. Ahamad, (2022.) Studying light pollution as an emerging environmental concern in India, Journal of Urban Management, Volume 11, Issue 3, Pages 392-405.

24. K. Narisada, D. Schreuder, (2004.) Light pollution handbook, Astrophysics and space science library, Volume 322.
25. K. Obayashi, K. Saeki, J. Iwamoto, Y. Ikada, N. Kurumatani, (2013.) Exposure to light at night and risk of depression in the elderly, Journal of Affective Disorders, Volume 151, Issue 1, Pages 331-336.
26. Komáromi A., (2021.) Űrtevékenységekről a középiskolában- műholdas távérzékelés, A fizika tanítása, Fizika szemle 2021/5.
27. Kovács K., (2019.) Okos városok és az okos közszolgáltatás és városfejlesztés, Dialóg Campus Kiadó, Budapest, Okosváros-technológiák, A technológia fejlődésének irányai és hatása II. kötet.
28. Könczöl K., (2002.) A fényérzékelés fejlődése, Természet Világa, 133. évf. 12. sz. 2002. december. [K.n.]
29. Kroó N., (2006.) A fény fizikája, Mindentudás Egyeteme, 6. Kossuth Kiadó, Budapest,
30. L. Septem Riza, Z. Ali Yunara Putra, M. Fajar Yusuf Firdaus, F. Zuliansyah Trihutama, A. Izzuddin, J. Aria Utama, K. Airin Fariza Abu Samah, D. Herdiwijaya, R. Anugraha NQZ, E. Sungging Mumpuni, (2023.) A spatiotemporal prediction model for light pollution in conservation areas using remote sensing datasets, Decision Analytics Journal, Volume 9.
31. Lelkes Z., (2013.) A fény hatása a napszaki ritmusra és az alvásra. In: Világítástechnikai évkönyv, Világítástechnikai Társaság, Budapest, 108-110. o.
32. Lőrinc L., (2016.) Életmód történet III. Anyagi kultúra 1500-tól napjainkig, Akadémia Kiadó.
33. Ly, B., Dyer, E., Feig, J., Chien, A., Bino, S., (2020.) Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. The Journal of investigative dermatology 140, 3-12.e1.
34. M. Aubé, A. Simoneau, Zoltán K., (2023.) HABLÁN: Multispectral and multiangular remote sensing of artificial light at night from high altitude balloons, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Volume 306.
35. M. Czaja, A. Kolton, (2022.) How light pollution can affect spring development of urban trees and shrubs, Urban Forestry & Urban Greening, Volume 77.
36. M. Khanduri, R. Sah, A. Ramachandran, S. Ainul Hussain, R. Badola, U. Candolin, F. Hölker, (2023.) Spatial-temporal expansion and determinants of light pollution in India's riparian habitats, Environmental Impact Assessment Review, Volume 98.
37. M. Solokha, P. Pereira, L. Symochko, N. Vynokurova, O. Demyanyuk, K. Sementsova, Miguel Inacio, D. Barcelo, (2023.) Russian-Ukrainian war impacts on the environment.

Evidence from the field on soil properties and remote sensing, Science of The Total Environment, Volume 902.

38. Nagy Z., (2018.) Közlekedésföldrajz, Akadémia kiadó. [H.n.]
39. Pirisi G. és Trócsányi A., (2019.) Fejezetek a társadalomföldrajz világából, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi és Földtudományi Intézet Földtudományok Doktori Iskola – Publikon kiadó, 208-216 oldal.
40. Puskás F., (2000.) A világítástechnika története. In: Puskás Ferenc (szerk): FIRKA - Fizika Informatika Kémia Alapok. 2000-2001 6. szám, 227-235 oldal.
41. Rajkovits Zs., (2007.) A szerkezeti színek az élővilágban, Fizikai szemle 2007/ 4, 121. oldal.
42. Rakita E., (2013.) Települések és típusaik. Vecsés község elhelyezése a szakirodalmi kategóriákban. Historia nostra: Történelmi folyóirat (1. évf., 1. szám), 82-96 o.
43. Rekettye G., Tóth T., Malota E., (2015.) Nemzetközi marketing, Akadémia kiadó, Marketing szakkönyvtár sorozat.
44. Sipos A. (1992): Villany a köztereken és a lakásban, 1884-1914. Ember és környezet. História 1992-02.
45. Szekeres T., Hargitai R., (2021.) A 15 tételes Rövid Geriátriai Depresszió Skála hazai alkalmazásával szerzett tapasztalatok normatív mintán, Mentálhigiéné és Pszichoszomatika 22.
46. T. He, H. Song, W. Chen, (2023.) Recognizing the transformation characteristics of resource-based cities using night-time light remote sensing data: Evidence from 126 cities in China, Resources Policy, Volume 85, Part A.
47. T. Ścieżor, (2019.) Light pollution as an environmental hazard, Technical Transactions 8/2019 Environmental Engineering.
48. Veszprémi T., (2015.) Általános kémia, 2., átdolgozott kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest.
49. Y. Wang, C. Zhao, D. Dong, K. Wang, (2023.) Real-time monitoring of insects based on laser remote sensing, Ecological Indicators, Volume 151.

http1: (<https://www.neom.com/en-us>)

http2:

(https://www.creeledtech.hu/erdekesssegek.php?a_vilagitas_feljodesenek_tortenete&id=6)

http3: (<https://ledlampahaz.hu/vilagitastechnikai-kislexikon-1-resz-szinhomeerseket>)

http4: (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700253.kor>)

http5: (<https://gostargazing.co.uk/light-pollution/>)

http6: (<https://qph.cf2.quoracdn.net/main-qimg-05d451df5e8244e4726b3898fff3f9ed-lq>)

http7:(<https://dji-official->

[fe.djicdn.com/cms/uploads/eead2358fecb94ceb86d412f4ca4b67d.png](https://dji-official-fe.djicdn.com/cms/uploads/eead2358fecb94ceb86d412f4ca4b67d.png))

8. Ábra és táblázat jegyzék

1. ábra: Az urbanizáció folyamata.	4
2. ábra: A vizsgálatba bevont települések.	5
3. ábra: Neom épülete a „The Line”.	7
4. ábra: A látható fény spektruma.	10
5. ábra: Színhőmérséklet tartomány/skála.	12
6. ábra: A CIELAB színtér ábrázolása.	13
7. ábra: A lámpa árnyékolók elhelyezése.	14
8. ábra: A közvetlen napfény százalékos szóródása a hullámhosszak függvényében.	19
9. ábra: Alacsony napmagasság mellett az északi kitettségű hegyoldalak önárnyékosak.	20
10. ábra: A tíz mérési helyszín	21
11. ábra: DJI Air S2-es drón.	23
12. ábra: A helyszíni képek, ezek pixel átlagolva, és mellette az értékük [...]	25
13. ábra: Az első helyszín mérési adatainak átlaga.	27
14. ábra: A második helyszín mérési adatainak átlaga.	28
15. ábra: A harmadik helyszín mérési adatainak átlaga.	29
16. ábra: A negyedik helyszín mérési adatainak átlaga.	30
17. ábra: Az ötödik helyszín mérési adatainak átlaga.	30
18. ábra: A hatodik helyszín mérési adatainak átlaga.	31
19. ábra: A hetedik, nyolcadik, kilencedik és tizedik helyszíni mérés adatainak az átlaga.	32
20. ábra: A tíz mérési helyszín átlaga.	33
21. ábra: A tíz helyszín össz átlagának átlaga.	34
1. táblázat: Mérési dátumok.	22
2. táblázat: Első mérés tíz adata.	27
3. táblázat: A tíz helyszín mérés átlagai.	32

9. Nyilatkozat

NYILATKOZAT

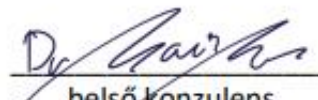
Dobos Judit (név) (hallgató Neptun azonosítója: E0HHMS) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz:

igen nem*2

Kelt: 2023 év november hó 6 nap


belső konzulens

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Dobos Judit
A Hallgató Neptun kódja: E0HHMS
A dolgozat címe: Gödöllő mint agglomerációs kisváros 10 méteres magasságlépcsővel mért fényszennyezésének a vizsgálata digitális képelemzéssel
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Környezetanalitika Környezettechnológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

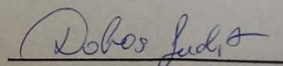
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év november hó 6 nap


Hallgató aláírása