

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

5.1. sz. melléklete: Külső és belső címlap

DIPLOMADOLGOZAT

Ványi Márk

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gödöllő Szent István Campus
Környezetmérnök mesterképzési szak

**Magyarországi agglomerációs település nyári időszakú
fényszennyezés mérése és vizsgálata, légi mérésekkel**

Belső konzulens: Dr. Barczy
András Egyetemi
adjunktus

Belső
konzulens
intézete/tanszé-
ke: **Egyetemi adjunktus**

Készítette: Ványi Márk Mórió

Gödöllő
2025

Tartalomjegyzék

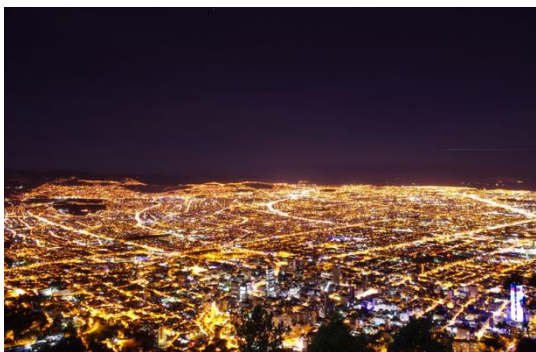
| | |
|---|-----------|
| 1. Bevezetés és célkitűzések | 3 |
| 2. Szakirodalmi áttekintés | 5 |
| 2.1 A fény fizikája..... | 5 |
| 2.1.1 Látható fény..... | 6 |
| 2.1.2 A fény viselkedése..... | 7 |
| 2.1.3 A Rayleigh-szórás | 8 |
| 2.2 A fényszennyezés szabályozása | 9 |
| 2.3 Fényszennyezést csökkentő technológiák | 12 |
| 2.4 Kevésbé vizsgált fényszennyezés típusok..... | 15 |
| 2.5 A fényszennyezés terjedése..... | 16 |
| 2.6 Fényszennyezés térkép..... | 17 |
| 2.7 Fényszennyezés lehetséges negatív egészségügyi hatásai..... | 18 |
| 2.8 Fényszennyezés mérések, módszerek | 20 |
| 2.9 Digitális képalkotás fontosabb elemei..... | 22 |
| 3. Alkalmazott módszerek | 25 |
| 3.1 Mérések helyszíne | 25 |
| 3.2 Mérés során használt drón..... | 26 |
| 3.3 A drón által készített felvételek területei..... | 27 |
| 3.4 Mérések leírása..... | 29 |
| 3.4.1 Az első mérés leírása | 29 |
| 3.4.2 A második mérés leírása..... | 30 |
| 3.4.3 A harmadik mérés leírása | 31 |
| 3.4.4 A negyedik mérés leírása..... | 32 |
| 3.4.5 Az ötödik mérés leírása | 33 |
| 3.5 A képek átalakítása..... | 35 |
| 3.6 A színterek bemutatása..... | 39 |
| 3.6.1 Az RGB színtér | 39 |
| 3.6.2 CIE Lab színtér..... | 40 |
| 3.7 Excel..... | 41 |
| 4. Eredmények és értékelésük | 42 |
| 4.1 Összes mérések bemutatása és kielemezése..... | 42 |
| 4.2 A gödöllői buszpályaudvar, kiválasztott helyszín bemutatása | 46 |
| 4.3 Egyetem főbejárat, kiválasztott helyszín bemutatása | 48 |
| 4.4 Egyetem szökőkút, kiválasztott helyszín bemutatása..... | 50 |
| 4.5 További helyszínek bemutatása..... | 52 |
| 4.6 Mérések alapján egymáshoz korreláló területek | 56 |
| 4.7 Következtetés | 57 |
| 4.8 Fényszennyezés megállapítása | 58 |

| | |
|---|-----------|
| 5. Következtetések és javaslatok | 59 |
| 6. Összefoglalás | 60 |
| 7. Köszönetnyilvánítás | 62 |
| 8. Irodalomjegyzék | 63 |
| 9. Mellékletek | 66 |
| 10. Nyilatkozat | 72 |

1. Bevezetés és célkitűzés

Az elmúlt évszázad során terjedt el az éjszakai mesterséges fények alkalmazása, a fényforrások gyors fejlődése számos előnnyel járt a modern társadalom számára. Ilyen előny például hogy éjszaka is képesek vagyunk az olyan tevékenységek végzésére, amelyet mesterséges fényforrások nélkül nem igazán lehetne végezni, de az éjszakai biztonságos mobilitás egyik alapja is. A települések fejlettségi szintjét is tükrözték eleinte, a városokban sokkal több fényforrás volt, mint vidéken, de két falu fejlettségi szintje közötti különbséget is jelölte, mára már ez nem annyira feltűnő. A fényszennyezés pedig akkor jelenik meg, amikor az éjszakai mesterséges fények egy része szükségtelenné, hatástalanná vagy éppen zavaróvá válik (Chepesiuk, 2009; Kwok et al.). Az International Dark-Sky Association (Nemzetközi Sötét Égbolt Szövetség) úgy definiálja a fényszennyezést, hogy a mesterséges fény túlzott, és vagy nem megfelelő használata, ami esetleges negatívumokkal járhat mind a környezetre, az éghajlatra, az élőlényekre nézve. Az intenzív urbanizáció és az iparosodás az, amely rendkívüli mértékben hozzájárul a fényszennyezés növekedéséhez (Kyba et al., 2017).

A mesterséges fényforrások éjszakai környezetszennyezése egyre növekvő globális környezeti probléma. Főként városi környezetben jelentkezik, viszont az itt élő élőlényekre gyakorolt hatásairól elég keveset tudunk. A fényszennyezésünk beavatkozhat ezeknek az állatoknak a biológiai folyamataikba, fragmentálhatja élőhelyeiket, megváltoztathatja viselkedésüket, ragadozó állatok vadászatának esélyeit növelheti vagy csökkentheti, ezek a változások pedig átalakíthatják a biológiai sokféleséget, a fajok tér és időbeli eloszlást. A fényszennyezés jelentős mértékben átalakíthatja a városi ökoszisztémák szerkezetét, működését. Egymáshoz közel lévő települések fényszennyezése súlyosbíthatja a helyzetet, növelheti az állatokra gyakorolt negatív hatások mértékét. Figyelembe véve az éjszakai mesterséges fényszennyezés gyors növekedését, további kutatásokra van szükség a városi ökoszisztémák egészséges működéséhez, és az emberi jólét fenntartásához (Ulrika, 2024).



1. ábra Fejlett város fényszennyezése (Forrás: <http://>.)

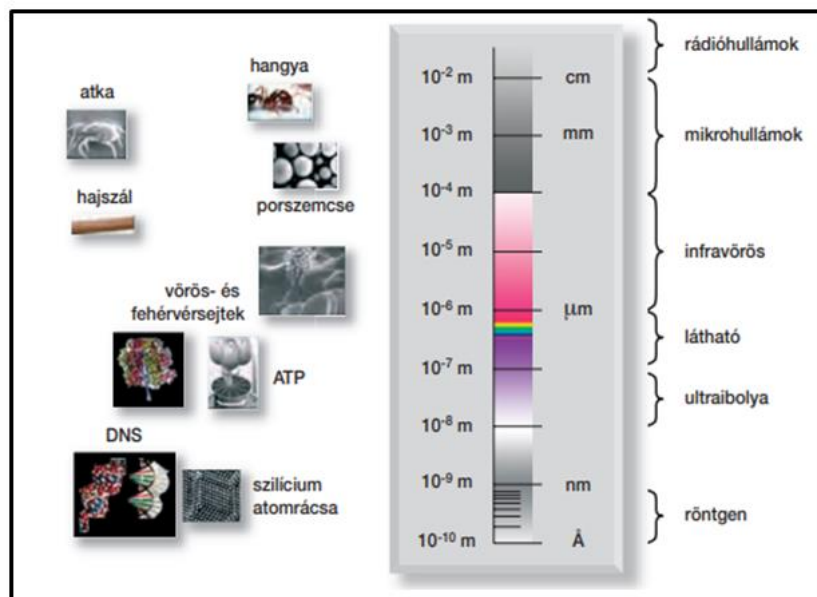
A Föld bármely pontját is nézzük, az urbanizáció jelen van, ezáltal akaratlanul is egyre nagyobb mértékű lesz a fényszennyezés. Ez azért probléma, mivel az emberek jelentős része, sőt majdnem az emberiség egésze, így ki van téve a fényszennyezés összes hatásának, legyen az pozitív vagy negatív. A fényszennyezést mára, a globális problémák közé lehet sorolni. A fényszennyezésnek rengeteg formája van, a csillagászati fényszennyezéstől, az ökológiai fényszennyezésen át, a fénykupoláig. Az Amerikai Egyesült Államokban 1988-ban létrehoztak egy a fényszennyezéssel foglalkozó szervezetet, amelyet International Dark-Sky Association-nak neveztek el. Az IDA feladatai között szerepel, a csillagos égbolt parkok létrehozása, segítése, védelme, világítás technikai eszközök hitelesítése, tanúsítása, megfelelő telepítésük annak érdekében, hogy ne okozzanak fényszennyezést, törvények és szabályok kidolgozása fényszennyezéssel kapcsolatban, oktatás a mesterséges fények túlzott használatának negatív hatásairól. Több mint 230 csillagos égbolt parkot hoztak létre eddig, 22 országon belül. Hazánkban is találhatóak csillagos égbolt parkok, jelenleg három helyen, az egyik a Zselici csillagos égbolt park, a másik kettő pedig a Bükki és a Hortobágyi nemzeti parkban található.

A Bsc szakdolgozatomat is fényszennyezésről írtam 2022-ben Isaszeg, mint jellemző agglomerációs település fényszennyezettségének nyári időszaki vizsgálata és összehasonlítása további légköri komponensekkel, címmel (Ványi, 2022). Mivel a szakdolgozatomban is a fényszennyezéssel foglalkoztam, ezért olyan fény fizikai tulajdonságokat, nem óhajtok átírni ebbe a diplomadolgozatba, mint például, hogy mi a fényűrűség, lumen, lux meg egyéb ilyen tulajdonságok, fényszennyezés típusai, mert ezek már számomra ismertek. Lényegében folytatom a fényszennyezéssel kapcsolatos kutatásaimat magasabb szintre emelve. A diploma dolgozatomban egy DJI drón segítségével vizsgáltam a fényszennyezést, Gödöllő olyan részein melyek, központiak és ahol a fényszennyezés nagyvalószínűséggel megállapítható.

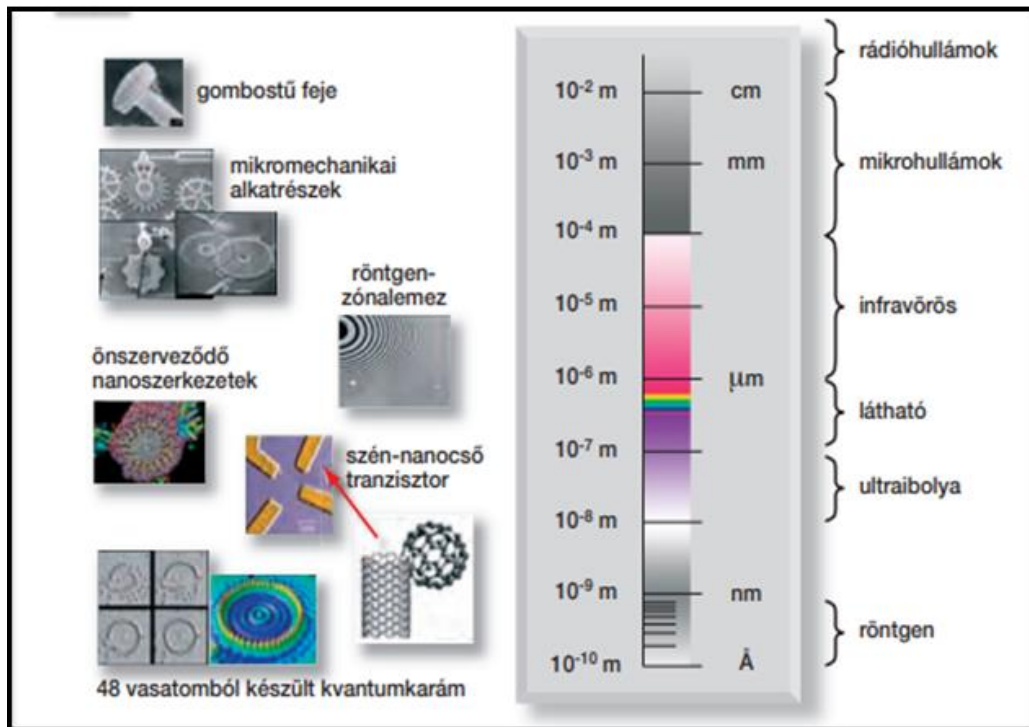
2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A fény fizikája

A fény elengedhetetlen ahhoz, hogy feltérképezzük a minket körülvevő élettelen világot, ennek ellenére az emberek többsége nem tudja megfelelően meghatározni, hogy mit is nevezünk fénynek. A fény elektromágneses sugárzás. Az elektromágneses sugárzások közé tartozik a rádióhullám, a mikrohullám és a röntgensugár is. De miben különbözik a fény az előbb felsorolt elektromos sugárzásoktól? Az egyszerű válasz pedig az, hogy a fénysugarakat látjuk, míg a röntgen-, mikro-, vagy rádiósugarakat nem. A látható fény az elektromágneses spektrumnak egy kicsi részét fedi le, mégis mondhatni, hogy számunkra sokkal fontosabb a spektrum többi részénél, hiszen maga a látás, és sok életfolyamat ebben a tartományban történik. A fény rengeteg, a hétköznapokban használt terület alapjául szolgál, például a hírközlés, a csillagászat, képzőművészetek vagy éppen a tudomány egyes részei. Töltött részecskék megfelelő sebességre gyorsításával létrehozható elektromágneses sugárzás. Az elektromágneses sugárzásnak nagy hullámhossz tartománya van. A gammasugaraktól kezdve, melynek hullámhossza nanométeres, a rádióhullámokig, melyek hullámhossza néhány centiméter, vagy akár több ezer méter is lehet. Meglepő módon az emberek által létrehozott struktúrák mérete is rendkívül hasonló tartománnyal rendelkezik, mint az elektromos sugárzásé. A fény egy hírvivő, a spektrumának minden része jelentős mértékben hozzájárult ahhoz, hogy megismerjük világunkat (Kroó, 2006; http2.).



2. ábra Az elektromágneses sugárzások hullámhossztartománya, természetes struktúrák (Forrás: Kroó, 2006)



3. ábra Az elektromágneses sugárzások hullámhossztartománya, mesterséges struktúrák (Forrás: Kroó, 2006)

2.1.1 Látható fény

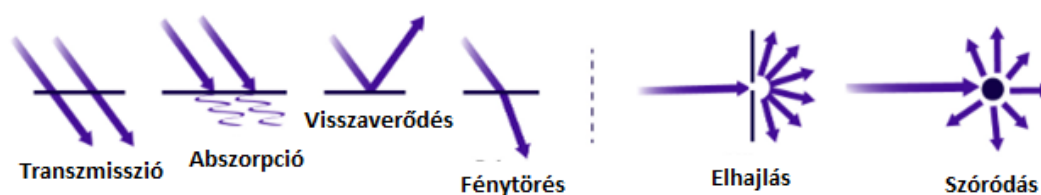
A látható fény az elektromágneses spektrum körülbelül 380 és 760 nanométer közötti hullámtartománya, ez az a tartomány, amelyet az emberi szemben lévő csapok és pálcikák képesek érzékelni. A látható fény tartománya egyénekenként és ember csoportonként eltérő lehet, ez az eltérés viszont, sok befolyásoló tényezőtől adódhat. Ilyen tényezők lehetnek, például a fényviszonyok, az életkorunk, a retina fáradtsága, a színmemóriánk, a hangulatunk, az úgynevezett háttérhatások, gondolok itt a tárgyat körülvevő színekre, mintákra, de az élőhelyünk is képes befolyásolni (Sliney, 2016). Az elektromágneses spektrum többi része számunkra láthatatlan, de egyes állatok képesek az általunk, látható fénynek nevezett tartományon kívüli fényeket is érzékelni szemeikkel. Életünk minden egyes napján tömérdek mennyiségű elektromágneses sugárzás ér minket, és ennek csak egy része a ténylegesen látható fény. Ha kimerészkedünk otthonról, akkor a legtöbb elektromágneses sugárzás, ami hatással van ránk, az a napból érkezik, de ennek a sugárzásnak, túlnyomó része a számunkra nem látható hullámtartományba esik. Az általunk létrehozott épületekben viszont már más a helyzet, otthonunkban, munkahelyünkön vagy éppen az iskolában a minket érő sugarak nagyobb része inkább a látható fény tartományába esik, ezek pedig mesterségesen előállított fényforrásokból származnak. Természetes fényt bocsátanak ki az égitestek, üstökösök, egyes bogarak, valamennyi baktérium és medúzafaj, de a vulkánok, erdőtüzek és villámok fénye is ide sorolható. Az elektromágneses sugárzáson belül a látható fényt általában hat kisebb részre

szoktuk bontani, hullámhossz tekintetében. A 380 és 440 nanométer közötti tartományt ibolya, a 440-470 nanométer a kék, a 470 és 550 a zöld, az 550-570 a sárga, az 570 és 620 közötti a narancs és végül a 620-760 nanométer közötti részt piros színnel jelöljük. A fény színekre bontása az egyik legérdekesebb tulajdonságából származik, ugyanis a körülöttünk lévő világ részei, elemei más és másképpen verik vissza a rá érkező fénysugarakat. Tehát ha mondjuk, valamit kéknek látunk, akkor az azért van, mivel az elektromágnes sugárzás 440 és 470 nanométeres tartománya az, aminek a legnagyobb részét visszaveri. Egy szín érzékelése összeállhat egy hullámhosszú elektromágneses sugárzásból is, de ugyanaz a szín akár két különböző hullámhosszúságú sugarak visszaverődéséből is létre jöhet ([http3.](#), [http4.](#)).

2.1.2 A fény viselkedése

Ha meg szeretnénk érteni, hogy a fény hogyan is viselkedik, amikor eltérő közegekkel találkozik, akkor a legjobb fényforrás számunkra a Nap. A Napban végbemenő hidrogén-hélium fúzió hatására energia szabadul fel, ennek egy része foton formájában jut el a Földre. Ha a fény útjában nincs semmiféle akadály, akkor egyenesen vonalakban terjed a fényforrásától, minden irányba. Viszont ha az útjába kerül egy szén-dioxid molekula, egy növény levele, vagy egy épület fala, akkor többféleképpen is kölcsönhatásba kerülhet az adott dologgal. A legegyszerűbb lehetőség, ha az érkező fotonok egyenes irányban, irányváltoztatás nélkül áthaladnak az akadályon, erre egy egyszerű példa, amikor a nap besüt az ablakon. Ezt a jelenséget transzmisszióknak nevezzük. Azok az akadályok, amik változatlanul engedik át a fényt, átlátszónak szoktuk hívni. Ha egy tárgyon nem képes áthaladni a fény, akkor árnyék fog keletkezni. A fény akadállyal történő találkozásakor abszorpció is bekövetkezhetik, ilyenkor a fotonok beleütköznek az akadály, mondjuk egy aszfaltút molekuláiba, rezgésbe hozzák őket és minél nagyobb ez a rezgés, annál jobban fel fog melegedni, esetünkben az aszfaltút. Ha egy tárgy vagy objektum elegendő mennyiségű energiát nyel el, akkor képes kisugározni az elnyelt energia egy részét, hő formájában. A következő lehetőség, ami megtörténhet az úgynevezett szórás, szóródás, ilyenkor az érkező fény beleütközik egy tárgyba és az érkező fotonok több irányba lepattannak róla, ebben az esetben a fény hullámhossza meg is változhat, de akár változatlan is maradhat. Egy másik lehetőség, a reflexió vagy más néven fényvisszaverődés. A fényvisszaverődés lényege, hogy az érkező fénysugarak az akadállyal történő érintkezés után egy új előre látható irányba terelődnek. Egy egyszerű példa teljes visszaverődésre, a tükör vagy egy tónak a mozdulatlan felülete, ezek szinte az összes rájuk érkező fényt visszaverik, ezért láthatjuk magunkat bennük. A fotonok akadályba ütközésekor létrejöhet fénytörés is, ez két különböző közeg határán szokott

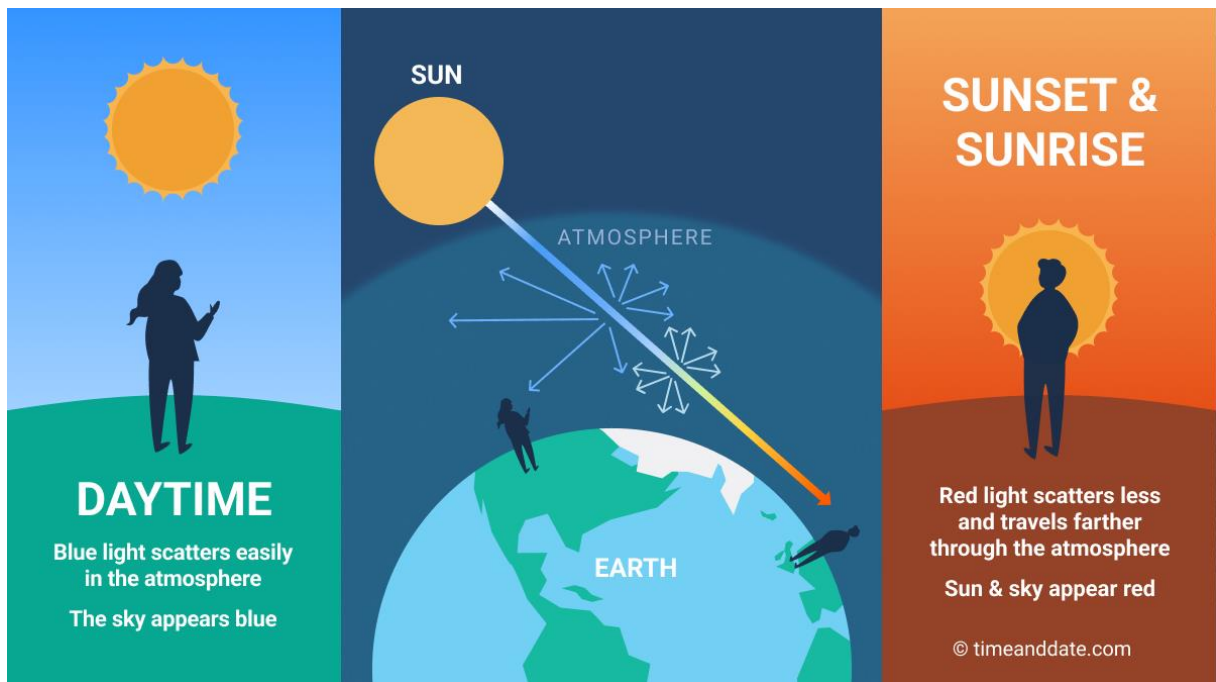
kialakulni, ilyenkor a beérkező fény sebessége kis mértékben lecsökken és irányt változtat. A fénytörés legkönnyebben egy üvegpohár, víz és szívószál segítségével szemléltethető, a pohár vízbe beletesszük a szívószálat és oldalról ránézünk a pohárra, ekkor a szívószál úgy fog kinézni, mintha meg lenne törve. Fénytörés során a fény irányváltoztatásának mértéke meghatározható, ha ismerjük azon anyag sűrűségét, mellyen áthaladna. A diffrakció vagy elhajlás, akkor következik be, ha mondjuk, egy egyszerű CD-t a fény felé tartunk és elkezdjük mozgatni, ekkor szivárványszerű mintát fogunk látni rajta. Ilyenkor a CD lemezeire érkező fénysugarak a lemezen lévő apró dudorokon különböző hullámhosszúságú részekre bomlanak, és rengeteg irányba visszaverődnek (http5.).



4. ábra A fény terjedésének lehetőségei (Forrás: http5.)

2.1.3 A Rayleigh-szórás

A Rayleigh szórás akkor jön létre, amikor valamilyen elektromágneses sugárzás, esetünkben a fény egy olyan részecskén szóródik, amelynek mérete kisebb a sugárzás hullámhosszánál. A fény kék hullámhossz tartománya, azaz a 440-470 nanométer közötti tartomány jobban szóródik a levegőben lévő részecskéken, mint a többi hullámhosszú fény. Ez a magyarázata annak, hogy az égboltot kék színűnek látjuk. A naplementét és a napkeltét pedig azért látjuk narancssárgának vagy vörösnek, mivel ilyenkor a naptól érkező fény kis szögben érkezik be a Föld légkörébe és így a fény nagyobb távolságot tesz meg, míg a szemünkbe jut. Ez a távolság elég ahhoz, hogy a spektrum kék részének jelentős része kiszóródjon, így szinte már csak a vörös és narancssárga hullámhosszú tartomány jut el hozzánk. A levegő részecskéi jóval kevésbé térítik el a vörös, azaz a 620-760 nm hullámhossztartományt, de ha csak ilyen fény tud már szóródni, akkor az eget halvány vörösnek fogjuk látni (David L., 2017).

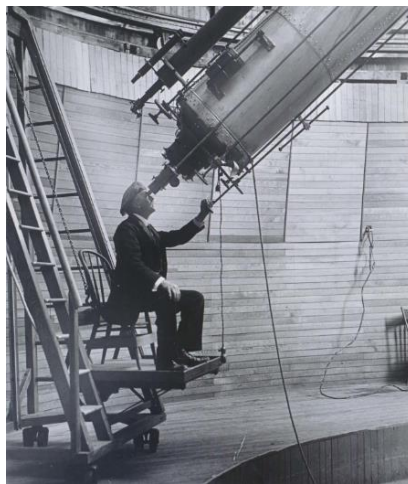


5. ábra Rayleigh szórás (Forrás: <http6>.)

2.2. A fényszennyezés szabályozása

A fényszennyezés a környezetre, csillagászatra, növényekre és állatokra, az emberi egészségre is negatív hatással lehet, de mindemellett felesleges energiateljesítményfelhasználás is. Az előbb felsorolt okok miatt van szükség jogi szabályozásokra. Egyes nemzetközi szervezetek (DarkSky International, International Commission on Illumination), néhány ország már korábban próbálkozott különböző intézkedéseket tenni, a fényszennyezés mérséklésének érdekében. A fényszennyezéssel kapcsolatos tudományos cikkek nagy része inkább a szennyezés káros hatásaira koncentrálnak, viszont a jogi szabályozásáról jóval kevesebb szó esik. A jogi szabályozása nem kap kellő figyelmet, pedig ez egy eszköz lehet a mesterséges éjszakai fények csökkentésére, kordában tartására. Manapság a fényszennyezés kérdése egyre inkább kezd megjelenni a politikában, egyre több ország fontolgatja, hogy miként is lehetne szabályozni. Egyes országok kutatásokat is indítanak annak érdekében, hogy ideális alapokat biztosítsanak a megfelelő intézkedésekhez. Ha teljes egészében nézzük a fényszennyezés szabályozását, jelenleg, még összehangolt, országokon átívelő intézkedésekről nem igazán lehet beszélni. Ennek ellenére vannak, olyan országok ahol már próbálkoznak az éjszakai mesterséges fények mértékének csökkentésével (Morgan-Taylor, 2023; Yakushina, 2025; Barentine, 2020).

Az egyik első jogszabály, amely az éjszakai környezet védelmet célozta meg, azt 1958-ban Amerikában az arizonai Flagstaffban hozták létre. A jogszabály létrehozásának célja, pedig az volt, hogy a csillagászati tevékenységekhez szükséges feltételeket biztosítsák, a fényszennyezés korlátozásával. A Flagstaff-ban létrehozott fényszennyezési rendelet előzménye volt, hogy 1894-ben Percival Lowell megérkezett az akkori Flagstaff-ba, ahol akkoriban kevesebb, mint ezer lakos volt. A csillagászat volt az egyik meghatározó tevékenység Lowell életében, így a város tiszta ége és sötét felhőtlen éjszakai vonzották oda, ahol a városlakóktól kapott egy fenyővel borított dombot, melyet később Mars dombnak neveztek el. Még 1894-ben létrehoztak ott egy csillagvizsgálót, mely a mai napig a Lowell Observatory névre hallgat. A Lowell csillagvizsgáló, leghíresebb felfedezését 1930-ban tette mikor is felfedezte a Plútót. A felfedezésben Lowell keresési stratégiája is szerepet játszott. Ekkoriban a Plútó volt, az első bolygó, melyet Európán kívül, teleszkóp segítségével fedeztek fel. Később 2006-ban a Nemzetközi Csillagászati Unió átsorolta a Plútót a törpebolygók közé. A várostól nagyjából 5 mérföldre 1955-ben létre hoztak egy Haditengerészeti Obszervatóriumot is, ekkoriban már 8000 körüli volt Flagstaff lakossága.



6. ábra Lowell Csillagvizsgáló belseje és a teleszkóp (Forrás: <http://>)

1957-ben a Lowell Csillagvizsgálóba egy új 69 hüvelykes csillagászati távcsövet szereltek fel, de az ott dolgozók hamar rájöttek, hogy a műszert nem képesek teljesen kihasználni. Az új távcsövet a Flagstaff-ban használt fényforrások miatt nem tudták kihasználni, egyre nagyobb lett a fényszennyezés a város körül. A város fényszennyezését szignifikánsan növelte a reklámozásra használt úgynevezett keresőfények vagy reflektorok, melyek erős fényei teljes mértékben az égboltot világították. 1958-ban fogadták el a „The Searchlight Law” – nevű törvényt, amely betiltotta a reklámozásra használt reflektorok, kereső lámpák alkalmazását Flagstaff-ban. Abban az esetben, ha valaki mégis telepített ilyen fényforrásokat, azt 300 dollár

befizetésével vagy 90 nap börtönbüntetésre kötelezték. A későbbiekben 2001-ben Flagstaff-ot választották meg a világ első Nemzetközi Sötét Égbolt Városnak (International Dark Sky City). Flagstaff úttörő szerepet játszott a világ egyik, hanem az első olyan fényszabályozással kapcsolatos rendelet kidolgozásában, ami az éjszakai égbolt, csillagászatra való megőrzésére fókuszált (Portree, 2002).

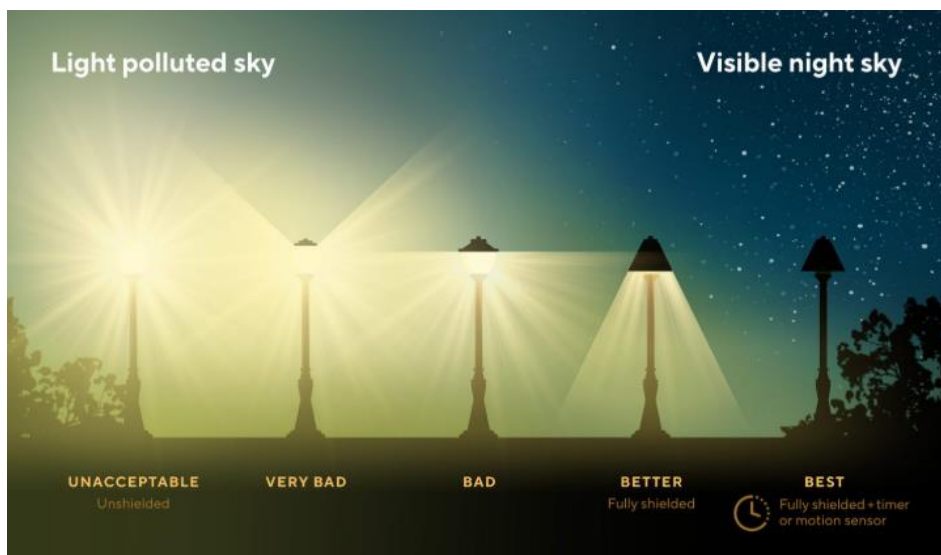


7. ábra Reklámozásra használt reflektorok, keresőlámpák (Forrás: <http8>.)

A fényszennyezés szabályozásával kapcsolatos intézkedések, szabályozások kezdetben a csillagászathoz voltak köthetőek, és céljuk a csillagászati tevékenységek minimális feltételeinek biztosítása volt. Viszont az éjszakai mesterséges fények mértékének rohamos növekedésével további problémák jelentek meg. Ezek a problémák az éjszakai természetes megvilágítás szintjének megváltoztatása miatt alakultak ki, ilyen probléma például az emberekre és az ökoszisztémákra való negatív hatások. Az ALAN (artificial light at night) hozzájárult többek között, a biológiai sokféleség gyors csökkenéséhez. Az újabban felismert problémák felhívást jelentenek a kültéri világításra vonatkozó szabályok módosítására. A fényszennyezés jogszabályban történő kezelésére sok megközelítés lehetséges, ilyen megközelítés lehet, mondjuk a már meglévő jogszabályokba való beépítése, akár a környezetvédelmi szabályok közé, az energiahatékonysághoz vagy a várostervezésbe. Az előbb említett szabályozás Németországban és Ausztriában figyelhető meg. Egy másik megközelítése a fényszennyezés jogi szabályozására, ha egy teljesen új rendeletet, törvényt hoznak létre, mint például Horvátországban. De az imént említett megközelítéseket lehet vegyesen is alkalmazni, kombinálni a két stratégiát, ez a szabályozás Franciaországban figyelhető meg (Yana Yakushina, 2025).

2.3. Fényszennyezést csökkentő technológiák

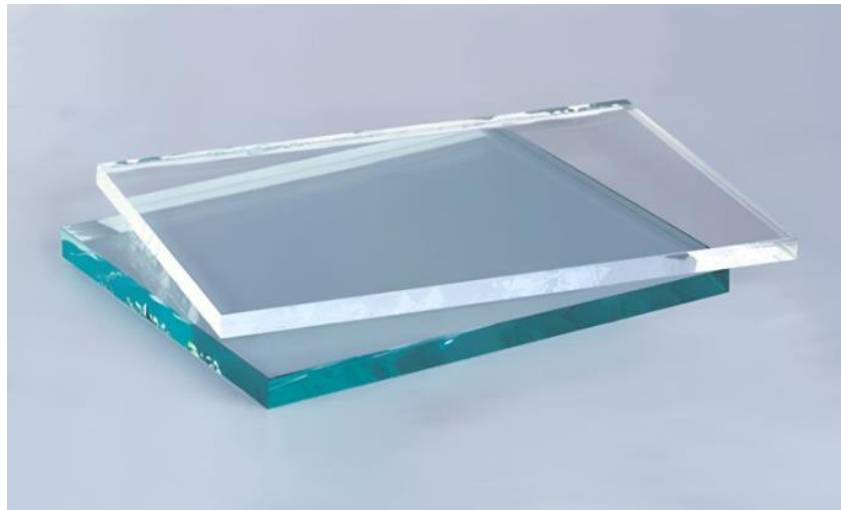
A csökkentésre szükség van, hiszen jelenleg a fényszennyezés komoly problémát jelent, elsősorban a nagyvárosokban. A fényszennyezés csökkentésének az egyik legjobb módja, ha az égboltot megvilágító pazarló fény, fényforrás mennyiségét csökkentjük. Kínában például az utcai lámpák jó részét úgy tervezték meg, hogy a fényszennyezésüket nem vették figyelembe, ezáltal a lámpák körülbelül 15%-a nem a járdát, utakat világítja meg (Wang et al., 2020). A legtöbb nagyváros fejlesztésénél, növekedésénél, nem vették figyelembe a fényt, mint szennyezőt, ahogyan Kínánál sem. A városok fényszennyezése nagymértékben csökkenthető lenne, ha olyan kültéri lámpákat, világításokat használnának, amelyek már úgy lettek megtervezve, kialakítva hogy azok csak a szükséges felületeket világítsák meg. A helytelenül kialakított lámpatestek káprázást, vakító hatást tudnak eredményezni, amelyek akár balesetekhez is vezethetnek. Mivel az elektromágneses sugárzások képesek szóródni a levegőben lévő apró gáz-, vízrészecskéken, így fontos hogy a lámpák milyen irányba, irányokba bocsátják a fényüket. Az egyik legegyszerűbb kialakítása a lámpaburának vagy lámpatestnek, ha a benne lévő égő, izzó fénye nem jut a horizont síkja fölé, így a fényszennyezés mértéke számottevően csökkenthető (Komal et. al. 2022).



8. ábra Lámpatestek kialakítása (Forrás: <http9>.)

Egy másik lehetséges stratégia a fényszennyezés csökkentésére ha, az épületeknél olyan anyagokat használunk, amelyek minél kisebb mértékben verik vissza a fénysugarakat. A nagyvárosokban általában sok üveg épület, felhőkarcoló található főleg a városok központi

részeiben. Az épületek falai legtöbb esetben jó fényelnyelő képességgel rendelkeznek, egyes falak fényelnyelő képessége megközelíti a 80%-ot. Ezekkel az épület felületekkel ellentétben, az üveg rossz fényelnyelő tulajdonsággal rendelkezik, a jelenleg használatban lévő üvegelemek, a fénynek kevesebb, mint 30 %-át képesek elnyelni. A megapoliszok épületsűrűségén egyértelműen nem érdemes, nem lehet változtatni, viszont a jövőben használhatunk olyan anyagokat az épületek építése során, amelyek fényelnyelő képessége magas, növelhetjük a fal-üveg arányát, a még nagyobb fényszennyezés elkerülésének érdekében. A jó fényáteresztő üvegek használata is elősegítheti a fényszennyezés mértékének csökkentését, a használatban lévő hagyományos sík üvegek nagy része körülbelül 84 %-os fényáteresztő képességgel rendelkezik, ma már vannak 90% áteresztő tulajdonsággal rendelkező ultra fehér üvegek is (Hangrui, 2025).



9. ábra Lámpatestek kialakítása (Forrás: <http10>.)

Az üveg, mint építőelem használata ma már egyre népszerűbb, az esztétikai vonzereje és a funkcionalitása miatt, emellett pedig modern hatást kelt. Az üveg széleskörű alkalmazása gondot okoz a városok fényszennyezésének szabályozásában. Különböző folyamatokon keresztül hozzájárulnak a fényszennyezéshez. Az üveg épületeken előszeretettel alkalmaznak külső fényforrásokat dekorációként. Az üveg fényáteresztősége miatt, a belső terekben alkalmazott fényforrások fényei is hozzájárulhatnak a fényszennyezéshez. Az üveg felületek visszaverhetik, felerősíthetik a mesterséges fényeket, így befolyásolhatják a környező fényszennyezést. Az építészek, a várostervezők és a világítástervezéssel foglalkozók nagy szerepet játszhatnak a fényszennyezés kezelésében, szabályozásában és csökkentésében (Shariff et al, 2019).

A fényszennyezés csökkentésére, szabályozására több lehetőség is rendelkezésünkre áll:

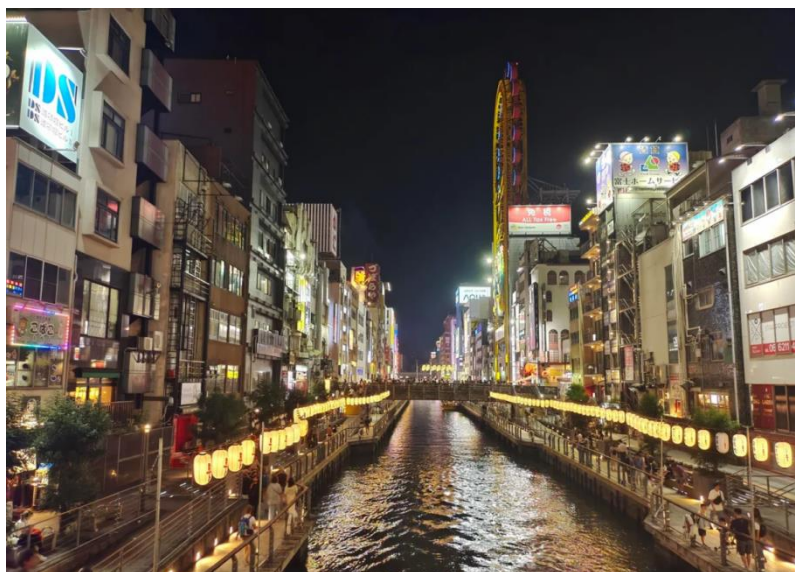
- A dekorációs kültéri világítások mennyiségének minimalizálása: annak érdekében, hogy a jövőben ne okozzunk még jóval nagyobb fényszennyezést, a díszvilágítások használatát lehet szabályozni, ellenőrizni.
- Kevesebb üveg elem használata az építkezések során: ha kevesebb üveg felületet alkalmazunk az épületeken, úgy csökkenthető, a fények visszaverődése és a beltéri fényforrások által, az ablakokon kijutó fény mennyisége.
- Világítástervezés: olyan kültéri fényforrások felszerelése, amelyek irányítottan, csak a szükséges felületeket világítják meg, így elkerülve a felesleges felfelé irányuló világítást. Azoknak a fényforrásoknak az alkalmazása, melyek rendelkeznek árnyékolóval, a fényt a megfelelő helyre irányítják.
- Lágyműanyag bevonatú üvegek használata: az üvegekre egy hőszigetelő nemesfém réteget visznek fel egy speciális eljárással, így javítva az üveg hőszigetelő tulajdonságát, növelve az energiahatékonyt és csökkenti a visszaverődés mértékét is.
- Fóliák, bevonatok használata: az üveg felületek tükröződését, fény visszaverő képességét csökkenteni lehet fóliák vagy bevonatok segítségével.
- Kültéri árnyékolók telepítése: olyan túlnyúló elemek vagy, lamellák épületek falára való telepítése, melyek csökkentik az éjszakai beltéri fények kiszűrődését.
- Megfelelő építőelemek választása: olyan típusú építő anyagok, elemek használata, melyek nagy fényelnyelő képességgel rendelkeznek.
- Állítható erősségű fényforrások: olyan fényforrások használata, melyek fényének erőssége, színhőmérséklete, intenzitása szabályozható, időzítők, mozgásérzékelők használata.

Az üveg és nyílászárók használata városi környezetben túlmutat az esztétikán, befolyásolja a fényszennyezés és a fényvisszaverődésének mértékét. Az épületek tervezése során, ha átgondolt tervezési stratégiákat alkalmaznak, akkor mérsékelhetik a fényszennyezést. A hatékony fénygazdálkodás multidiszciplináris megközelítést igényel, az emberi és környezeti tényezőket egyaránt figyelembe véve (Tanya, 2024).

2.4. Kevésbé vizsgált fényszennyezés típusok

Habár a fényt manapság az öt legfontosabb, kritikus szennyező közé sorolják, a levegőszennyezés, a vízszennyezés, a zajszennyezés és a keletkező szilárd hulladék mellett, mégis jóval kevesebb figyelmet kap az imént megemlített szennyezőkhöz viszonyítva. A fényszennyezés képes megváltoztatni az élőlények viselkedését, fiziológiáját, a taxonokban lévő eloszlásukat. A városokat, településeket legtöbb esetben valamilyen víztest közelében hozták létre, így a folyók és tavak világszerte ki vannak téve fényszennyezésnek (Hölker et al., 2023). A folyók fényszennyezése azért alakul ki, mivel az éjszakai mesterséges fények megváltoztatják, a folyókat alapesetben megvilágító, természetes fények mennyiségét. Megkülönböztethetünk közvetlen és közvetett szennyezést. A folyók közvetlen szennyezése abban az esetben jön létre, amikor az éjszakai mesterséges fények a víz felszínére esnek, ezek mértéke meghaladhatja a teliholdkor lévő természetes fény mennyiségének 1000 szeresét is. A közvetett szennyezés a skyglow vagy fénykupola típusú, fényszennyezésből, a légkörben szétszóródott mesterséges fényekből származik, ezek a fények a fényforrásoktól messzire, hatalmas távolságokba képesek eljutni és a természetes fények 100 szorosát is eredményezhetik. Kevés fény mennyiség változás is elegendő ahhoz, hogy a folyami ökoszisztémák fiziológiájában változás történjen. Egy példa erre a zooplankton, mely jellemzően mélyebb vizekben, kevés fény mellett él, hogy elkerülje a planktonokkal táplálkozó halakat, csak éjszaka emelkednek fel a mélyebb vizekből, táplálkozás céljából. A folyók és egyéb víztestek fényszennyezése megzavarja ezt a természetes viselkedési mintát, így a zooplanktonok éjszaka is lent maradnak, nem jönnek fel a vízfelszín közelébe, ezáltal a növekedésüket lassítva, majd számbeli csökkenéshez vezet. A fitoplanktonokra is hatással lehet ez a változás, ami pedig befolyásolhatja az eutrofizációt és a víz minőségét (Hays, 2003; Kupprat et al., 2020). Az éjszakai mesterséges fények megzavarják a vízi rovarok viselkedését, mivel a fényforrások közelébe vonzza a repülő rovarokat, így könnyű prédává válnak. A felszíni vizek közvetlen közelében lévő mesterséges fényforrások úgynevezett 'movement barrier'-t, akadályt hozhatnak létre néhány állat számára, például kétéltűeknek, bizonyos halfajoknak, denevéreknek. A Gangesz folyó fényszennyezésnek való kitettsége egyre növekszik, és ez befolyással van az ott élő szárazföldi és különféle vízi fajokra is. A változások az élőhely választásban, a táplálkozási viselkedésekben figyelhető meg, és szerepelnek, ezek a fajok között természetvédelmi jelentőséggel bíró fajok is. Például a gaviál, az indiai úszóteknős vagy a gangeszi folyami delfin (Khanduri et al., 2023). Egyre

több vizsgálat támasztja alá és egyre több bizonyíték van arra, hogy a fényszennyezés valós fenyegetést jelent a folyókra és a vízi ökoszisztémákra (Liu, 2024).



10. ábra Folyó fényszennyezése (Forrás: <http11>.)

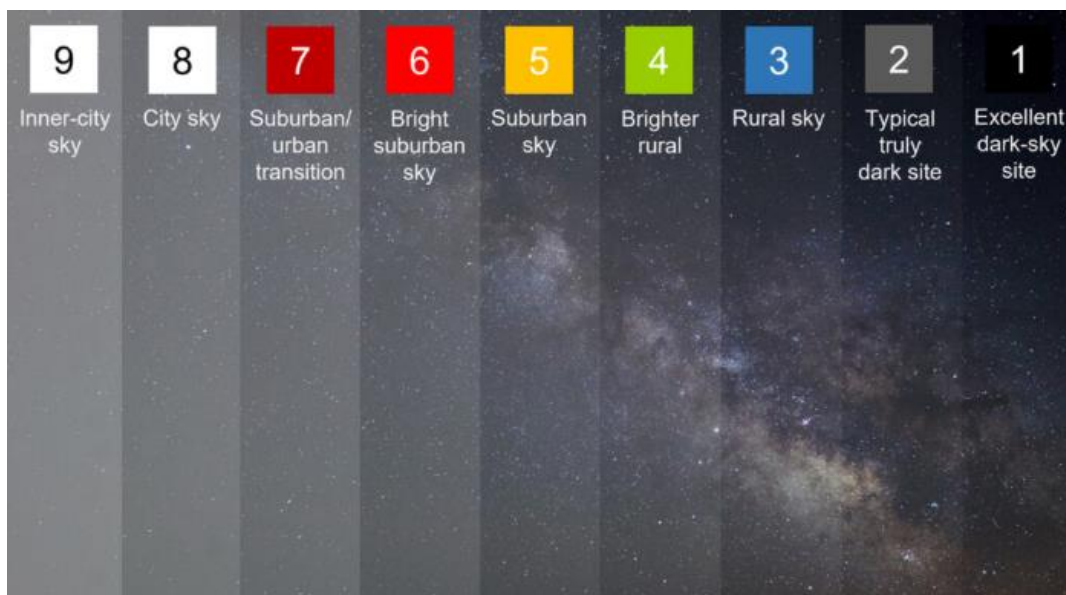
2.5. A fényszennyezés terjedése

Az egyik legfontosabb kérdés a fényszennyezéssel kapcsolatban, az hogy a mesterséges fénykibocsátás az évek előrehaladtával milyen tendenciát mutat. A mesterséges fényforrások száma egyértelműen évről évre egyre több lesz, ami azt eredményezi, hogy a fényszennyezés is növekedni fog. A kérdés innentől kezdve az, hogy milyen mértékű lesz ez a növekedés. Ez egy olyan kérdés, amely világszerte jelen van a fényszennyezés-kutatásában, és a feltételének az oka pedig az, hogy egyre több nemkívánatos mellékhatását ismerjük meg. A fényszennyezés növekedésének méréshez szükség van indikátorokra. Ezeket az indikátorokat értékelhetik különböző spektrális sávokban és függhetnek a vizsgált hatásoktól, használt mérőeszközöktől. A gyakrabban használt detektálási sávok közé tartozik a fotopikus látás, a szkotopikus látás, állati fotoreceptorok érzékenységének és hatásspektrumának széles tartománya. A mesterséges fénykibocsátás mennyiségéről, annak alakulásáról értékes információt adhatnak az indikátorok. A fényszennyezés mértékének számszerűsítése nem egyszerű feladat, sok olyan tényező van, amely befolyásolhatja, például az idő, időjárási viszonyok, a mesterséges fényforrások száma, ezek erőssége és típusa. Nem régiben a Globe at Night, ami egy nemzetközi civil-tudományos program, mely célja az, hogy felhívja a figyelmet a fényszennyezésre, arra jutott, hogy 2011 és 2022 között évente nagyjából 9,6 %-al nőtt, míg a műholdak által mért adatok alapján becsült éves növekedés nagyjából 2,2 %. A két

becsült érték között hatalmas különbség van, az egyik érték több mint négyszerese a másiknak (Salvador and Castro-Torres, 2025).

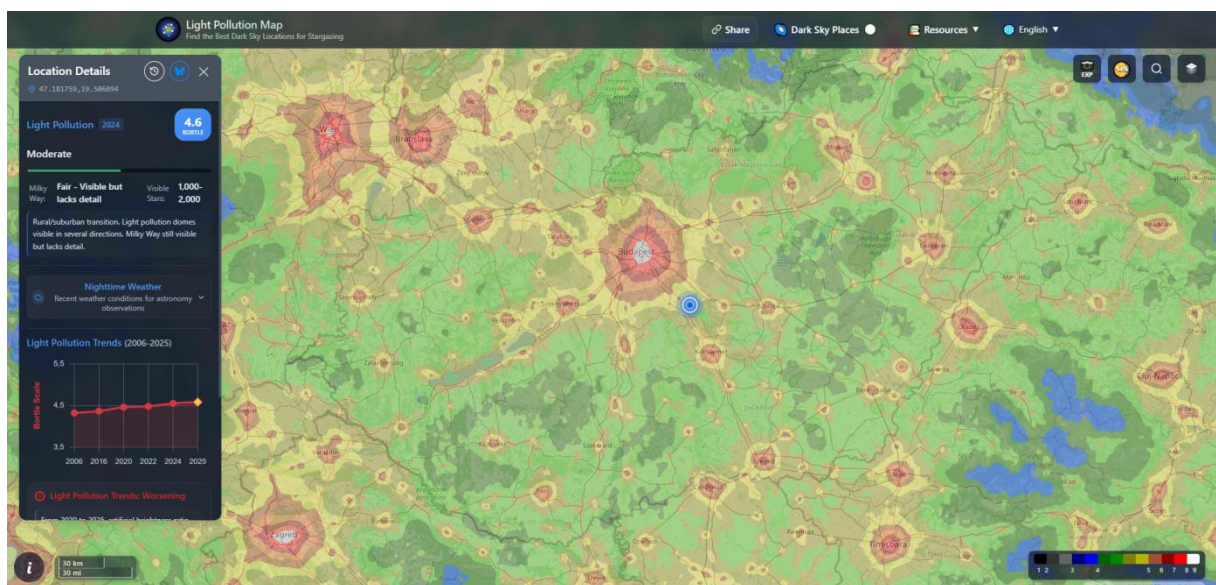
2.6. Fényszennyezés térkép

A fényszennyezés, mint globális probléma, mára már széles körben elterjedt és egyre többször említik a környezetszennyezés többi formájával együtt. A Földön, sajnálatos módon nem sok olyan helyet találni, ahol érintetlen sötétség uralja az éjszakákat, mint amely egykor minden egyes éjszaka körülött minket. Fabio Falchi és társai 2016-ban létrehozta egy fényszennyezettségi térképet, amelyet műholdak által készített számos kép felhasználásával állítottak össze. Ezen a térképen látható a Föld teljes egészének mesterséges fényekkel való szennyezése, ez rávilágított arra, hogy milyen nagymértékű is a fényszennyezésünk (Falchi et al., 2016). 2001-ben John E. Bortle bevezetett egy új skálát a fényszennyezés szintjének felmérésére, melyet Bortle-skálának nevezünk. A Bortle skála kilenc különböző szintet állapít meg a fényszennyezés intenzitása alapján. A szintekbe való besoroláskor figyelembe veszik, hogy éjszaka szabad szemmel mennyire látható jól az égbolt és a csillagok, mennyire fényesek, illetve halványak (Bortle, 2001).



11. ábra Bortle skála (Forrás: [http12.](http://12))

2023-ban készült egy tanulmány, amelyben számos, olyan tényezőt emeltek ki, ami hozzájárul a fényszennyezéshez, például a víztetek, a növényzet, az épületek anyaga, a légszennyezés mértéke. A fényszennyezés megzavarja az állatok és a saját cirkadián ritmusunkat is, emellett befolyásolja az általános jóllétet is. A fényszennyezés akadályozza a csillagászatot, égi jelenségek megfigyelését (Fan and He 2023). A Light Pollution Map weboldalán a Föld bármely pontján meg tudjuk nézni a fényszennyezés mértékét Bortle-skála osztályozás alapján. Az oldalon szereplő adatok évente frissülnek és ezeket az adatok a National Oceanic and Atmospheric Administration szolgáltatja. A térkép a Bortle skálát használja, ahol a kilences osztályozás mutatja a legszennyezettebb területeket. Minél kisebb osztályozást kap egy terület, annál több csillag figyelhető meg azon a területen éjszakánként (Alexandra and Adriana, 2024).



12. ábra Magyarország fényszennyezése 2025 (Forrás: <http13>.)

2.7. Fényszennyezés lehetséges negatív humán egészségügyi hatásai

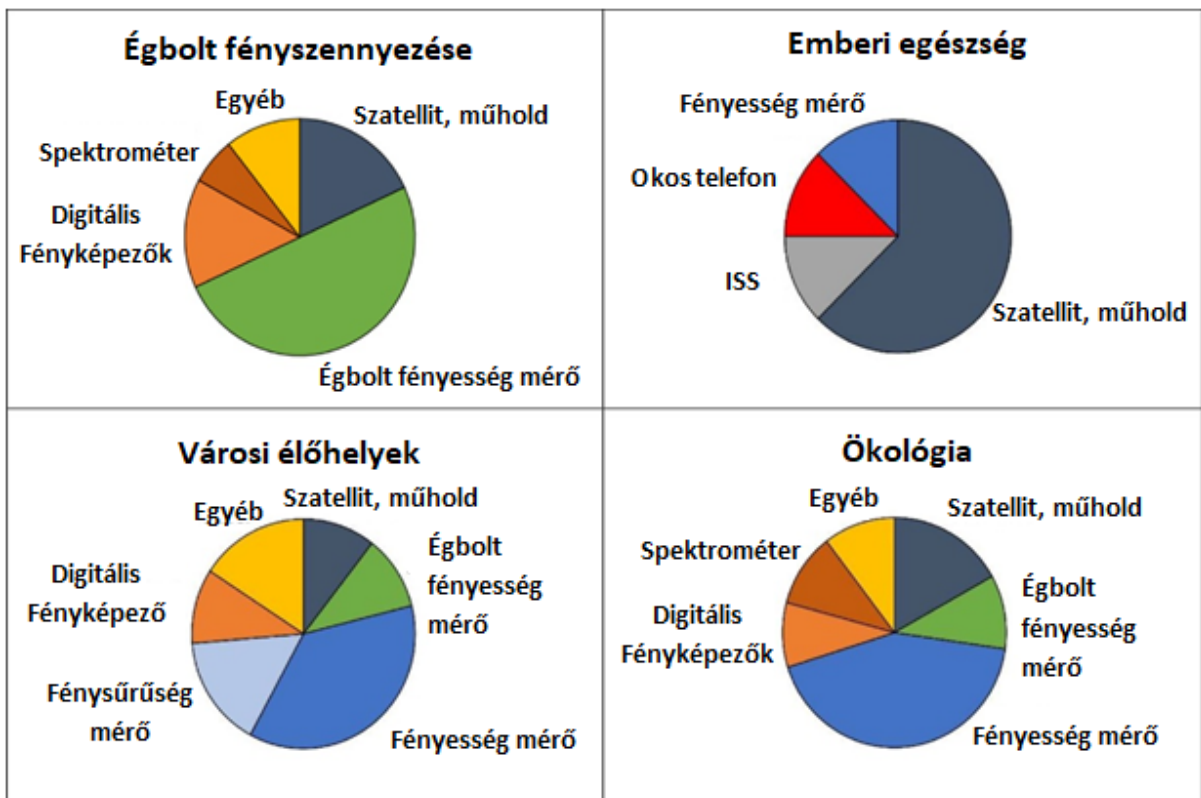
A fényszennyezésnek számos negatív hatása lehet az emberekre nézve. Epidemiológiai tanulmányok kimutatták, hogy a fényszennyezés valószínűleg hozzájárul olyan betegségek kialakulásához, mint az elhízás, alvászavar, mentális betegségek és a cirkadián ritmus megváltoztatása, de léteznek olyan kutatások is, amelyek a rák kialakulásával hozzák kapcsolatba. Megváltoztathatja az emberek természetes melatonin termelését, így káros hatással lehet az idegekre (Héctor et al., 2022). Az elmúlt évtizedekben a fejlődő országok nagy része hihetetlen mértékű gazdasági növekedést ért el, és hatalmas urbanizáción ment keresztül. Az afrikai országok jelentős része ide sorolható, a városokban élő emberek száma

1950-hez viszonyítva megnégyszereződött. Az itt végbemenő gyors urbanizáció megváltoztatja az ott élő emberek táplálkozási szokásait, ezek egészségtelen életmódhoz vezethetnek, habár az urbanizáció jobb egészségügyi ellátást is eredményez. Egy 2018-as tanulmány az éjszakai mesterséges fények és az elhízás közötti lehetséges kapcsolatot vizsgálta. A kutatás során, Nigériában élő nők testsúlya és a mesterséges éjszakai fények között kerestek bármiféle összefüggést. Azokon a területeken ahol, a fényszennyezés csak kisebb mértékben van jelen ott nem találtak szignifikáns összefüggést az elhízással. Viszont azokon a helyeken, ahol a fényszennyezés jóval nagyobb mértékben van jelen, ott már találtak kapcsolatot a túlsúllyal (Abay and Amare, 2018). Az utóbbi időkben egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a környezeti tényezők emberi egészségre gyakorolt hatásai. A mesterséges éjszakai fény, mint szennyező a légszennyezéssel együttvéve szinergikus, vagy additív káros hatással lehetnek ránk nézve. A melatonin termelés alakulásában és a stresszhez is hozzájárulhat (Lambert et al., 2015). A nappal és éjszaka, vagy világos és sötét váltakozása, szinte az összes biológiai folyamat szabályozásában szerepet játszik, ezt már régóta tudjuk. A mesterséges éjszakai fények bevezetése, használata cirkadián ritmus felborulásához vezet. A nappal és éjszaka természetes ciklusának megváltoztatása mesterséges fényekkel ahhoz vezetett, hogy hajlamosabbak lettünk egyes viselkedési zavarokra, illetve neurodegeneratív betegségekre (Roberts, 2007). Ez a ciklus vezetett el minket, embereket és más élő szervezeteket is egy napi ritmus kialakulásához, így a fiziológiai folyamataink folyamatosan próbálnak ehhez alkalmazkodni. A fény és sötét ciklus részben szabályozza a biológiai folyamatainkat, ezáltal szerepet játszik a tanulásban, a hangulatunk alakulásában, hatással van a memóriára és az alvás-ébrenlét ciklusra (Namgyal et al., 2020). A mesterséges világítás feltalálása és elterjedése lehetővé tette a társadalom számára, hogy a nap bármely órájában dolgozzanak, szórakozzanak vagy bármilyen egyéb tevékenységet végezzenek. Akárhogy is nézzük az elektromos világítás kétségkívül előnyös számunkra. Az éjszakai mesterséges fényeknek való kitétség, viszont számos, az egészségre káros következménnyel járhat. A társadalom azon része, mely éjszakai műszakban vagy több műszakban dolgozik, jobban ki van téve a fényszennyezésnek. Természetes esetben a melatonin szintünk a vérben, a gerincvelői folyadékban, a nyálban nappal alacsony és éjjel pedig magas. Az éjszakai mesterséges fények gátolják a tobozmirigy melatonin termelést. A melatonin termelés időtartamát, mennyiségét és amplitúdóját befolyásolja, hogy mennyi ideig, milyen mértékű, milyen spektrumú fényszennyezésnek vagyunk kitéve. A látható fény spektrumának vannak olyan hullámhosszúságú részei melyek jelentős mértékben képesek korlátozni a melatonin termelést. Például a 460 nanométer hullámhosszúságú fény, pont ilyen (Lunn et al., 2017).

2.8. Fényszennyezés mérések, módszerek

A fényszennyezés, mint globális probléma, mára már széles körben elterjedt és egyre többször említik a környezetszennyezés többi formájával együtt. A fényt sok területen tanulmányozzák, például a csillagászatban, a világítástechnikában, az ökológiában vagy a kronobiológiában. Minden tudományág a saját mérőszámait, terminológiáját alkalmazza (Kalinkat et al., 2021). A fényszennyezés mérésére sokféle eszköz állhat rendelkezésünkre, az olcsó egyponos mérőeszközöktől a drága képalkotó műszerekig. Vannak olyan, műszerek, amely kezelése egyszerű és vannak, amelyek bonyolultabbak, használatuk magas szintű hozzáértést igényel. Fontos, hogy a különböző tudományágakból szerzett információkat, adatokat, módszereket összegyűjtsük, annak érdekében, hogy a későbbiekben a megfelelő módszert, mérőeszközt tudjuk, majd kiválasztani a környezethez és a kutatási célhoz mérten. A fényszennyezés emberi szemmel is mérhető, bár az ilyen mérések szubjektívek, mivel nem mindenki ugyan olyannak látja, ugyan azt a megvilágított környezetet, illetve függ attól is, hogy a szemünk mennyire alkalmazkodott abban a pillanatban a fényekhez, sötétbe (Julian, 2015). Az objektív fénymérésekhez elengedhetetlen a kalibrált műszerek alkalmazása. A fény számszerűsítésére rengeteg mértékegységet, mérési módszert alkalmaznak. Például a besugárzás mérésénél az egységnyi felületre eső elektromágneses sugárzás mennyiségét mérik, míg a sugázmérésnél, a felület fényességét, a felület által visszasugárzott fényt mérik. A megvilágítást luxban, a fényerősséget pedig kandela/négyzetméterben mérjük. Az égbolt fényességének meghatározásához legtöbbször ívmásodperc négyzetre eső magnitúdót használják, vagy a Bortle skálát. A rengeteg mérőeszköz között vannak, amelyek az űrből szolgáltatnak, adatot vannak, amelyek levegőből készítenek méréseket, és vannak föld közeli műszerek. Egyes műszerek globális, más mérőeszközök pedig regionális vagy lokális adatok szolgáltatására használhatóak. Az űrből szatellitok, azaz műholdak méréseiből, vagy az általuk készített képekből kaphatunk fényszennyezés adatokat. Az atmoszférából drónok, ballonok, vagy légi járművek segítségével tudunk fényszennyezés adatokat szerezni. A talaj közeli mérőeszközöket általánosságban két nagyobb csoportra lehet osztani, az egyik a képalkotó műszerek csoportja, a másik pedig a pankromatikus mérőeszközöké. A képalkotó műszerek közé sorolhatók a digitális fényképezőgépek, a hiperspektrális fényképezőgépek, spektrométerek, vagy éppen az NPS (US National park Service all sky) kétféle speciális kamera rendszere, melyek nagyfelbontású képeket készítenek az éjszakai égboltról. A pankromatikus mérőeszközök, egy spektrális sávot vesznek fel, ami tartalmazza a látható fény teljes tartományát, ilyen eszköz az égbolt fényesség mérő (sky quality meter), a TESS-W

fotométerek, a fényerősség vagy világításmérők, a fénysűrűség mérők. A fényszennyezés mérés egyes területeinek megvannak a leggyakrabban használt eszközei, például az égbolt fényszennyezésének mérésénél az esetek felében az égbolt fényesség mérőt használják, de a műholdak által mért adatokat is előszeretettel használják. A műholdak méréseit viszont legtöbb esetben, azokban a kutatásokban, tanulmányokban szokták felhasználni, ahol a fényszennyezés emberi egészségre gyakorolt hatásait végzik. Az ökológiai és városi élőhelyek vizsgálatainál, pedig a fényerősség mérőket szokták előnyben részesíteni, ahogy az a 13. ábrán is látható (Susan, 2023).

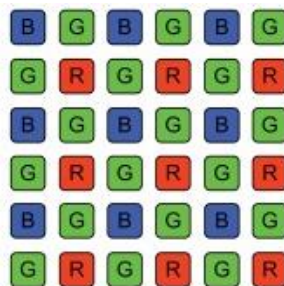


13. ábra Fényszennyezés mérés eloszlása, mérőeszközök és műszerek szerint több területre nézve 2025 (Saját szerkesztés, illetve fordítás, forrás: Susan, 2023)

2.9. Digitális képalkotás fontosabb elemei

Manapság a legelterjedtebb képérzékelő, amelyet digitális képalkotó eszközökben alkalmazunk, azok nem mások, mint a CMOS érzékelők. A CMOS a Complementary Metal-Oxide Semiconductor rövidítése, magyarra fordítva komplementer fém-oxid félvezető. Ezek a szenzorok fényérzékeny diódák hálózatának segítségével alakítják át a fényt digitális jellé, így képesek fényképeket létrehozni. Ilyen CMOS szenzorokkal van felszerelve, sok nap, mint nap használt eszközünk is, mint például okos telefonok, egyes fényképezőgépek, web kamerák és drónok. Azért CMOS érzékelőket szerelnek be a legtöbb digitális képalkotó eszközbe, mivel alacsony az előállítási költségük és gyors a képfeldolgozási sebességük (Fossum and Hondongwa, 2014).

A professzionális fényképezők általában három CMOS érzékelővel rendelkeznek, így minden színcsatornához van egy-egy CMOS szenzor. Egy másik megközelítés hogy egyetlen egy CMOS érzékelőt használnak, amely elé egy színszűrő tömböt helyeznek. A színszűrő tömb lehetővé teszi az RGB minták előállítását. Ezeket a színszűrő tömböket gyakran Bayer filternek, vagy Bayer mintának is szokták nevezni. A Bayer mintát először a Kodak fejlesztette ki, ez egy olyan technológia, amely a pixelenkénti három színsíkot, ami 24 bitet igényelne, csökkenti le, egy színszűrő tömb segítségével 8 bitre. Mivel a pixelek így csak egy színt rögzítenek, ezért a valódi felbontása a szenzornak alacsonyabb lesz, mint a három CMOS érzékelővel felszerelt fényképezők, amelyek pixelenként mind a három színcsatornán rögzítenek színinformációt (David R., 2014). A Bayer filter egy ismétlődő 2x2-es zöld, kék és piros egységekből álló minta, amely a 14. ábrán látható. A Bayer minta felében nem véletlen van 2-szer annyi zöld szűrő, mint kék vagy piros. Ennek az oka az, hogy az emberi szem jóval érzékenyebb a zöld fényre, tehát az így kapott kép jobban alkalmazkodik az emberi látás sajátosságaihoz. A Bayer minta, mint színszűrő tömb használata lehetővé tette, hogy egy CMOS érzékelővel színes képeket rögzítsünk, így csökkentve a gyártási költségeket. A színszűrő tömbökkel szerelt szenzorok rendkívül kicsik lehetnek, ezáltal tökéletesek az okos telefonok és egyéb digitális képalkotó eszközökhöz (Peter, 2016).



14. ábra Bayer filter (Forrás: Peter, 2016)

Egy szenzor színmélysége azt adja meg, hogy az által készített digitális kép egyetlen egy képpontja, vagy pixele mennyi különböző színt képes megjeleníteni. Az érzékelőknél ez egy elég fontos tényező, mivel minél nagyobb a színmélysége egy szenzornak, annál több színt és árnyalatot lesz képes megjeleníteni. Tehát a digitális képünk minősége jobb lesz, ha egy nagyobb színmélységű képrögzítő eszközt használunk. A színmélységet szokás bitmélységnek is nevezni, mivel egy képrögzítő eszköz színmélységét bit-ben szokták megadni. A leggyakrabban 8 bites színmélységet szoktak alkalmazni, ez azt jelenti, hogy mind a három alapszín, a zöld, a piros és a kék is 256 különböző árnyalat megjelenítésére képes, ezek összeszorozásával meg is kapjuk, hogy egyetlen egy képpont több mint 16 millió 700 ezer színt tud megjeleníteni. Egy olyan eszköz, amely 10 bites színmélységgel rendelkezik, az 1024 árnyalattal dolgozik minden alapszínnél, ez azt eredményezi, hogy egy képpont 1 milliárd 73 milliónál is több színt képes megjeleníteni. A 10 bites képrögzítő eszközök által készített digitális képek így élet hűbbek, természetesebbek lesznek, mint ha azt egy 8 bitessel készítettük volna (Sullivan et al., 2012).

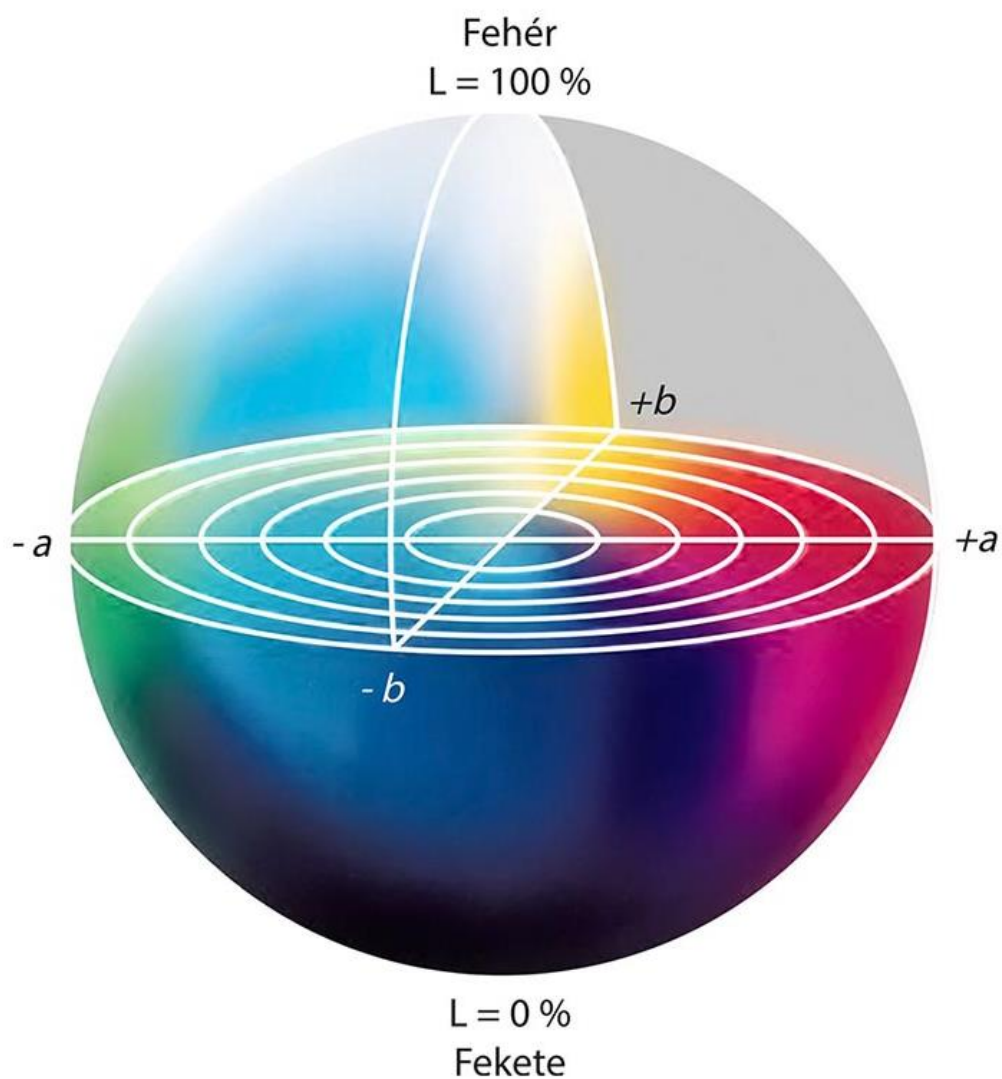


15. ábra 8 és 10 bites színmélység összehasonlítása (Forrás: <http14>.)

Az LAB színteret 1976-ban határozta meg a Nemzetközi Világítási Bizottság. A rövidítésben az L érték a fényességet jelöli. Egy színkódban az L érték egy 0 és 100 közötti skálán helyezkedik el. Minél közelebb van az L értékünk a 0-hoz, annál sötétebb lesz a színünk, illetve minél közelebb van a 100-hoz annál világosabb lesz. Az a és b értékek színek jelölésére vannak. Az a-val a zöld és vörös színpárokat, míg a b-vel a sárga és kék színpárokat

jelöljük. Az a tengely negatív iránya a zöldesebb, míg a pozitív irányába történő elmozdulása vörösebb színt eredményez. A b tengely ugyanúgy működik, mint az a tengely, csak a két tengely merőleges egymásra nézve, a negatív irány kékesebb színt, míg a pozitív sárgásabb színt eredményez. Egy színkód pontos megadásához szükségünk van az L, a és b értékre is (Ly et al., 2020).

Lab matematikai színmodell térbeli ábrázolása:



16. ábra Lab színtér (Forrás: <http15>.)

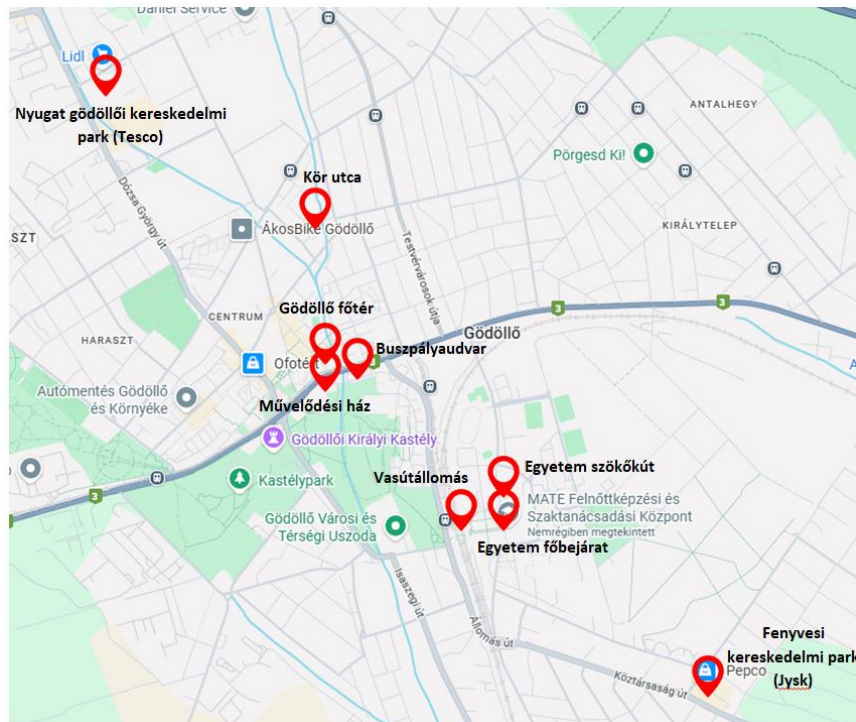
3. Alkalmazott módszerek

3.1. Mérések helyszíne

A méréseimet itthon Magyarországon, a Pest vármegyében található Gödöllőn végeztem. Azért Gödöllőn, mivel Budapest körüli kritikus agglomerációs település, több mint 30 ezer lakossal rendelkezik és emellett könnyen megközelíthető volt számomra. A méréseim helyszíneit próbáltam úgy megválasztani, hogy azok olyan helyek legyenek, amelyeket az éjszakák folyamán aránylag többen látogatnak, központi részeken találhatóak, illetve esetlegesen fennállhat a fényszennyezés ténye. A kijelölt kilenc mérési pont mindegyike Gödöllőn található. A mérések helyszíneit bejelöltem a Google Maps térképen, ez a 17. ábrán látható.

Mérési pontok:

- Egyetemi szökő kút, GPS koordináta: 47°35'39.8"N 19°21'39.7"E
- Egyetem főbejárata, GPS koordináta: 47°35'34.8"N 19°21'40.5"E
- Vasútállomás, GPS koordináta: 47°35'33.9"N 19°21'31.0"E
- Művelődési ház, GPS koordináta: 47°35'54.9"N 19°21'02.7"E
- Busz pályaudvar, GPS koordináta: 47°35'57.1"N 19°21'08.6"E
- Fenyvesi kereskedelmi park (Jysk), GPS koordináta: 47°35'10.4"N 19°22'24.6"E
- Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco), GPS koordináta: 47°36'36.1"N 19°20'15.5"E
- Gödöllő főté, GPS koordináta: 47°35'58.5"N 19°20'54.9"E
- Kör utca, GPS koordináta: 47°36'17.8"N 19°21'00.0"E



17. ábra A mérések helyszínei (Forrás: Google Maps térkép)

3.2. Mérés során használt drón

A légi felvételeket egy DJI Air 2S drón segítségével készítettem, amely 2021-ben az egyik legjobb felvételező drón volt a piacon. A drónt a konzulensem, Dr. Barczy András biztosította számomra. A drón hatótávolsága maximum 18,5 km. A repülési magassága a tengerszinthez viszonyítva maximum 5 kilométer lehet. Mivel az európai és Magyar törvényekben is 120 méter az engedélyezett repülési magasság, ilyen típusú eszközökkel, ezért a mérések során sem haladtuk meg a 120 méteres magasságot. A 120 méteres korlátozást annak érdekében hozták meg, hogy a légi közlekedés ne legyen veszélyeztetve. A drón minimális repülési magassága fél méter. Ha a drónnal mégis fél méter magasság alá próbálunk menni, akkor az eszköz automatikus landolásba kezd. A drón alja távolságmérő szenzorokkal van felszerelve. A mérési helyekre általában három akkumulátorral mentünk ki, egy akkumulátor nagyjából fél óra repülést bír ki, mielőtt lemerülne. Az akkumulátorok 3500 mAh teljesítményűek, a fogyasztásuk pedig, 42 Wh körül vannak. Lipo 3S típusú akkumulátorral rendelkezik, mely tömege 198 gramm. A drón végsebessége eléri a 70 km/órát. A DJI Air 2S tömege 595 g, ebben a súlyban benne van az akkumulátor súlya is. A drón szárnyai behajthatóak, a propellerei összecsucskozhatóak, a könnyebb szállítás és tárolás érdekében. A méreteit tekintve, felszálláshoz kész állapotban 180 x 253 x 77 mm nagyságú.

A drón egy háromtengelyű gimbal stabilizált kamerával rendelkezik. A kamera 90 és -24 fok között állítható, vibrációs kilengése kevesebb, mint 0,01°. A CMS szenzor 20MP (5472×3648; 3:2 képarány esetében) méretű állókép rögzítésére képes, RAW vagy jpeg formátumban. A széles látószögű lencse 88°-ot zár be, fix f/2,8 rekeszes. Az érzékelő 10 bites színmélységgel bír, másodpercenként 2-3 kép készítése érhető el sorozat módban.

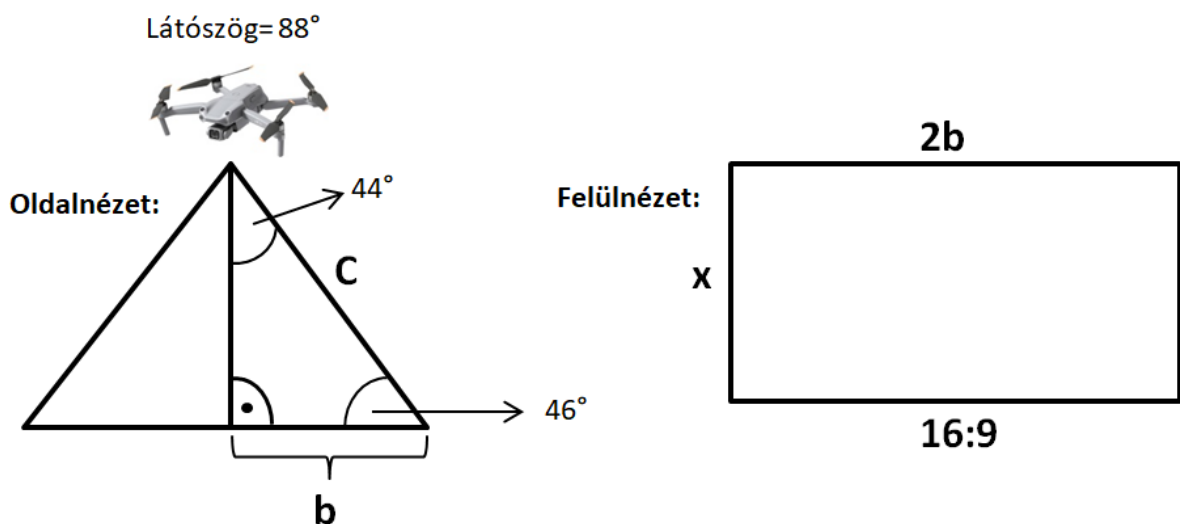
A DJI Air 2S drón a 18. ábrán megtekinthető.



18. ábra DJI Air 2S (Forrás: <http16>.)

3.3. A drón által készített felvételek területei

A drón által készített felvételek területére is kíváncsi voltam, azért hogy kiderüljön, hogy 10, 20, 30... 120 méter magasságból mégis mekkora az a terület, amelynek a fényszennyezését vizsgáltam. A képek területének számítását a következőképpen hajtottam végre. Készítettem egy háromszöget, amely a drón kamerája által látott területet ábrázolja oldalnézetből, ez a 19. ábrán látható. A háromszöget két derékszögű háromszögre osztottam, és mivel a drón látószöge 88° , így mind a két háromszögnek a felső szöge 44° lesz. A felvételi magasság, az adott (10-120 méter). A „C”-vel jelölt oldalt, azaz az átfogót, a következő derékszögű háromszög szögfüggvényével számoltam ki: $\sin \alpha = \frac{\text{szöggel szemkötti befogó}}{\text{átfogó}}$ osztva az átfogóval. Miután kiszámoltam a C oldal hosszát, így már a derékszögű háromszögnek két oldal hosszát is tudtam, ezáltal egy Pitagorasz-tétel segítségével a harmadik oldal, azaz a „b”-vel jelölt oldal hosszát is ki tudtam számolni. A „b” értéket megszorozva kettővel, megkaptam a drón által készített felvétel hosszabb oldalának a hosszúságát. Ahhoz, hogy kiszámoljam a területet szükségem volt a másik oldal hosszára is, ezt úgy számoltam ki, hogy a drón által készített képek, fotók 16:9 képaránnyal készülnek, ami azt jelenti, hogy ha a hosszabb oldal tegyük fel 16 méter hosszú, akkor a rövidebb oldalnak 9 méter hosszúságúnak kell lennie. Tehát egy egyszerű aránypárszámítással megkaptam a másik, jelen esetben „x”-el jelölt oldal hosszát. Miután megvolt mindkét oldal hosszúsága, csak összeszoroztam a két értéket és így megkaptam a téglalap (felvételek) területét.

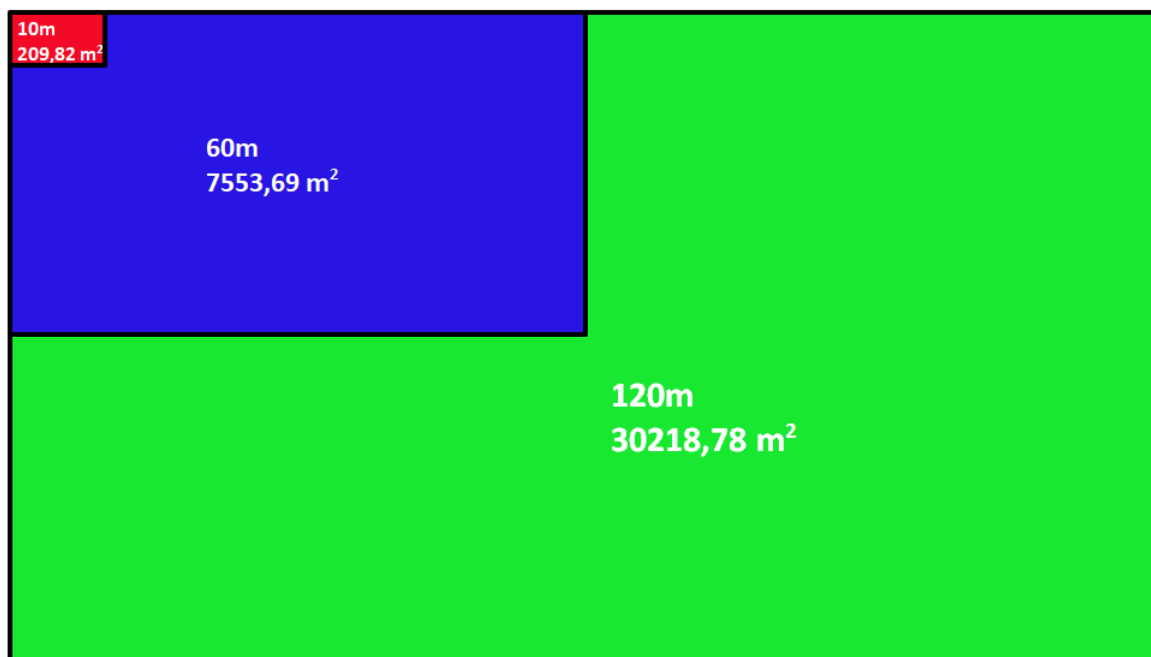


19. ábra A számítások megértéséhez készített ábrák, oldal- és felülnézetből
(Forrás: saját szerkesztés)

Annak érdekében, hogy ne kelljen mind a 12 különböző magasságban készített felvétel területét egyesével végigszámolni, készítettem Excelben egy táblázatot, ami függvények segítségével végigszámolja helyettem 10-től 120 méterig a területet. Ez a táblázat a 20. ábrán látható. A jobb szemléltethetőség érdekében készítettem egy ábrát, melyen a 10, 60 és 120 méter magasságban készített felvételek területei hasonlítom össze, méretarányosan. Ez a 21. ábrán tekinthető meg. Az ábrán a piros téglalap a 10 méter felvételi magasságban készített képek területét mutatja meg, míg a kék téglalap a 60 méter magasságban készített felvételek területét ábrázolja. A zöld színnel ábrázolt téglalap a 120 méter felvételi magasságban készített fotók területét jelöli.

| Terület számítás | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|--------|--------|---------------------------|
| Felvételi magasság [m] | C (átfogó, [m]) | b (befogó, [m]) | 2b [m] | x [m] | Terület [m ²] |
| 10 | 13,90 | 9,66 | 19,31 | 10,86 | 209,82 |
| 20 | 27,80 | 19,31 | 38,63 | 21,73 | 839,30 |
| 30 | 41,70 | 28,97 | 57,94 | 32,59 | 1888,42 |
| 40 | 55,61 | 38,63 | 77,26 | 43,46 | 3357,20 |
| 50 | 69,51 | 48,28 | 96,57 | 54,32 | 5245,62 |
| 60 | 83,41 | 57,94 | 115,88 | 65,18 | 7553,69 |
| 70 | 97,31 | 67,60 | 135,20 | 76,05 | 10281,42 |
| 80 | 111,21 | 77,26 | 154,51 | 86,91 | 13428,79 |
| 90 | 125,11 | 86,91 | 173,82 | 97,78 | 16995,81 |
| 100 | 139,02 | 96,57 | 193,14 | 108,64 | 20982,48 |
| 110 | 152,92 | 106,23 | 212,45 | 119,50 | 25388,80 |
| 120 | 166,82 | 115,88 | 231,77 | 130,37 | 30214,78 |

20. ábra Területek számításából készített táblázat (Forrás: saját szerkesztés)



21. ábra Az egyes magasságokban készített felvételek területeinek méretarányos ábrázolása (Forrás: saját szerkesztés)

3.4. Mérések leírása

A méréseim során öt alkalommal készítettem légi felvételeket. Minden mérési napon este 22:00 óra és éjfél között hajtottam végre a repüléseket és készítettem el a képeket, azonos beállítási feltételek mellett. A kamera zársebessége 1/50, míg az érzékenysége ISO 6400-as értékre volt állítva. A lencse rekeszértéke fix f/2,8. A drónt én irányítottam, én repültem vele, viszont az összes alkalommal jelen volt a konzulensem is Dr. Barczy András. A mérések során különböző mennyiségű felvételt készítettem, volt olyan mérési nap, amikor 72 képet készítettem és volt olyan nap is, hogy 99 képet. Egyes napokon öt mérési helyszínen készítettem felvételeket és volt olyan is, amikor nyolc helyszínen végeztem méréseket. Az összes felvétel 10 és 120 méteres magasság között készült. A felvételeket 10 méteres lépcsőkben készítettem el, az első képet 10 méteren, a másodikat 20 méteren, aztán 30... és így tovább 120 méterig, ami azt jelenti, hogy egy-egy mérési ponton 12 képet rögzítettem. Korábbi repülési tapasztalatok alapján szükségtelennek tartottam a repülések ismétlését, azaz egy alkalommal ugyanazon mérési pont többszöri megrepülését, mivel megelőző mérések során az ismétlések eltérése olyan 0,1 % alattiak voltak, így fölöslegesnek gondoltam addig a levegőben tartózkodni a drónnal, kvázi energiapazarlásnak tartottam. Voltak olyan mérési pontok, ahol 24 képet készítettem, ebben az esetben a drónnal felfelé emelkedve 12 képet, majd lefelé is 12 képet készítettem.

3.4.1 Az első mérés leírása

Az első méréseket 2024. hetedik hó 22.-én végeztem. Ezen a napon 5 mérési ponton végeztem repülést, a Kör utcában, a buszpályaudvaron, az egyetem főbejáratánál és a szökőkútnál, majd a Művelődési háznál. Összesen 72 felvételt készítettem a mérési helyszíneken aznap. Az időjárás aznap este tíz óra után, amikor a képek készültek, enyhén felhős volt, a hőmérséklet pedig 29 °C volt.



22. ábra 2024.07.22 buszpályaudvar éjszakai fényei 120 méter magasságból
(Forrás: saját kép)

3.4.2 A második mérés leírása

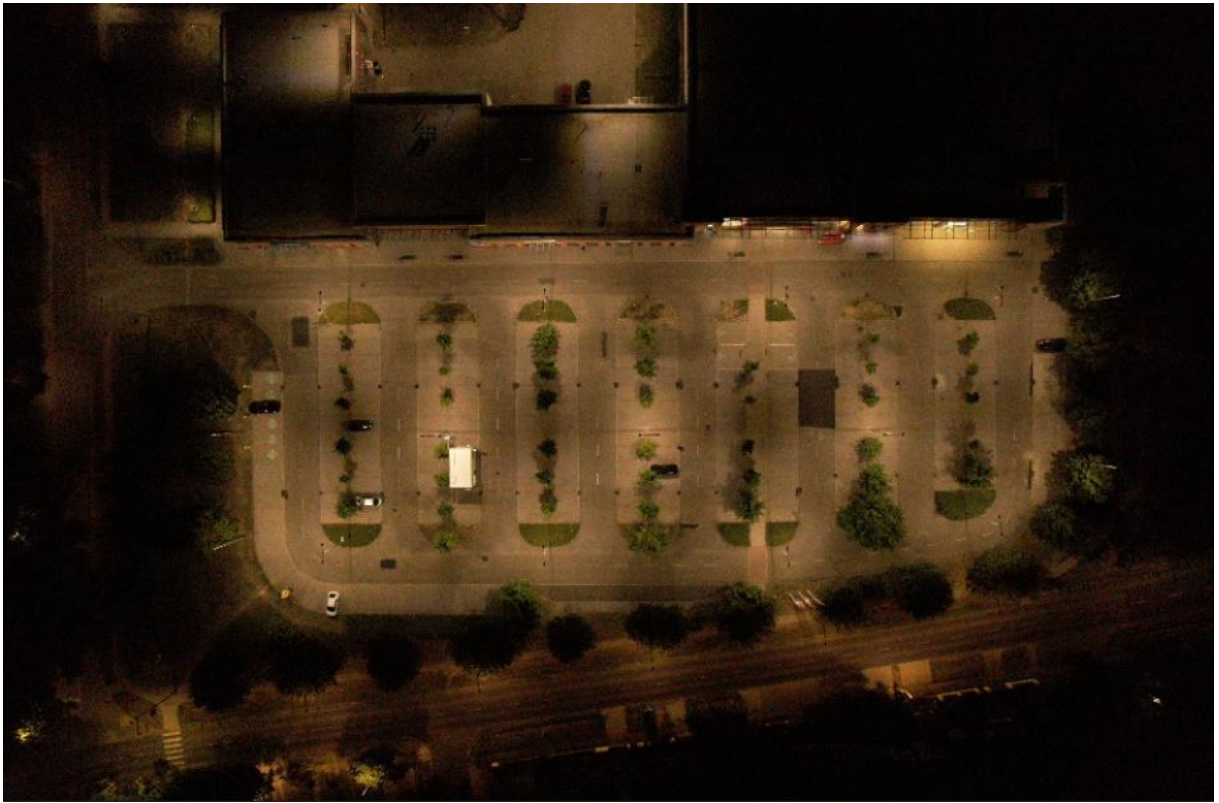
A második alaklommal végzett méréseket már 2025.-ben hetedik hó 31.-én készítettem. Ezen a napon 6 mérési ponton végeztem repülést, a buszpályaudvaron, a vonat állomáson, a nyugat gödöllői kereskedelmi parkban (tesco-nál), az egyetem főbejáratánál és a szökőkútnál, majd a Művelődési háznál. Két mérési helyszínen, az egyetemi szökőkútnál és a Művelődési háznál, felfelé repülve és visszatérve is készítettem felvételeket, így itt helyszínenként 24 képet csináltam. Összesen 99 felvételt készítettem a mérési helyszíneken aznap. Az időjárás aznap este tíz óra után, amikor a képek készültek, az ég tiszta, a hőmérséklet pedig 27 °C volt.



23. ábra 2025.07.31 egyetemi szökőkút éjszakai fényei 120 méter magasságból
(Forrás: saját kép)

3.4.3 A harmadik mérés leírása

A harmadik alaklommal végzett méréseket 2025.-ben Augusztus 06.-án készítettem. Ezen a napon 8 mérési ponton végeztem repülést, a buszpályaudvaron, a vonat állomáson, a nyugat gödöllői kereskedelmi parkban (tesco-nál), a fenyvesi kereskedelmi parkban (Jysk) az egyetem főbejáratánál és a szökőkútnál, a Művelődési háznál és Gödöllő főterén. Összesen 99 felvételt készítettem a mérési helyszíneken aznap. Az időjárás aznap este tíz óra után, amikor a felvételek készültek, az ég felhős, a hőmérséklet pedig 24 °C volt.



24. ábra 2025.08.06 fenyvesi kereskedelmi központ (Jysk) éjszakai fényei 120 méter magasságból (Forrás: saját kép)

3.4.4 A negyedik mérés leírása

A negyedik mérésem 2025. Augusztus 12.-én volt. A harmadik méréssel megegyezően ugyanazon a 8 mérési helyszínen készítettem légi felvételeket. Összesen 96 felvételt készítettem a mérési helyszíneken aznap. Az időjárás aznap este tíz óra után, amikor a képek készültek, az ég tiszta, a hőmérséklet pedig 28 °C volt.



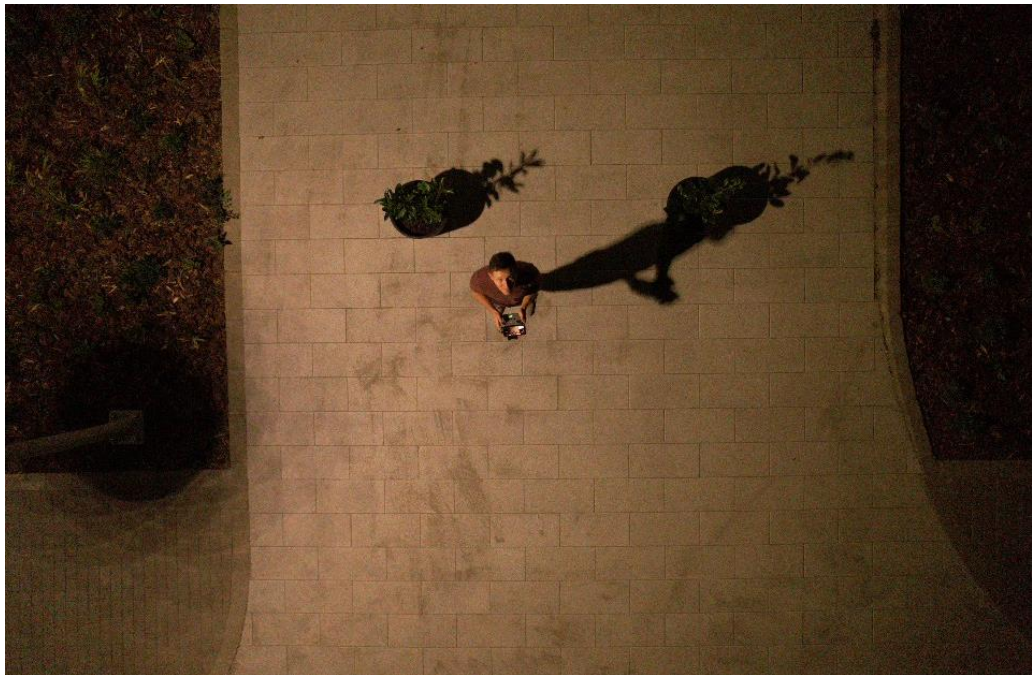
25. ábra 2025.08.12 Gödöllő főterének éjszakai fényei 120 méter magasságból
(Forrás: saját kép)

3.4.5 Az ötödik mérés leírása

Az ötödik mérés 2025.-ben Augusztus 21.-én történt. A harmadik és negyedik méréshez hasonlóan, ugyanazon a helyszíneken készítettem légi fotókat. Összesen 96 felvételt készítettem a mérési helyszíneken aznap. Aznap este tíz óra körül, a hőmérséklet 21°C volt, az ég pedig felhős.



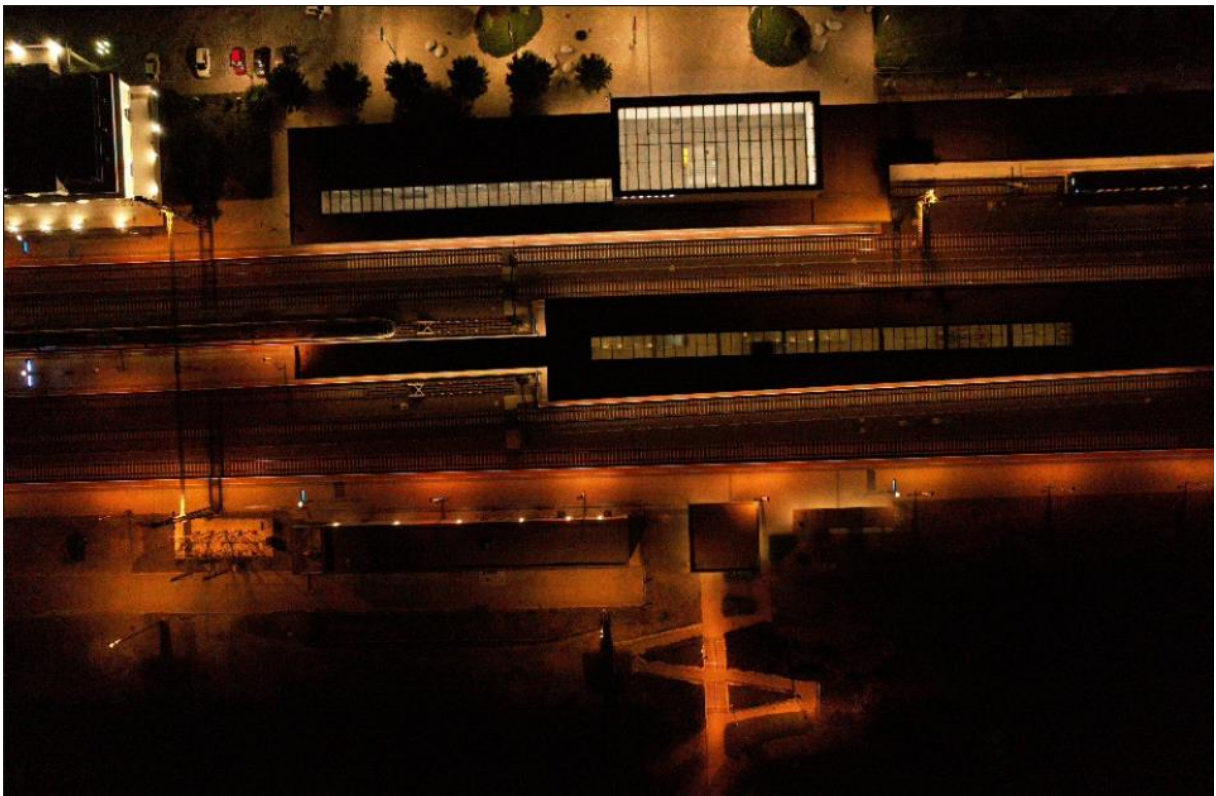
26. ábra 2025.08.21 Nyugat gödöllői kereskedelmi központ (Tesco) éjszakai fényei
120 méter magasságból (Forrás: saját kép)



27. ábra Én, drón irányítás közben (Forrás: saját kép)

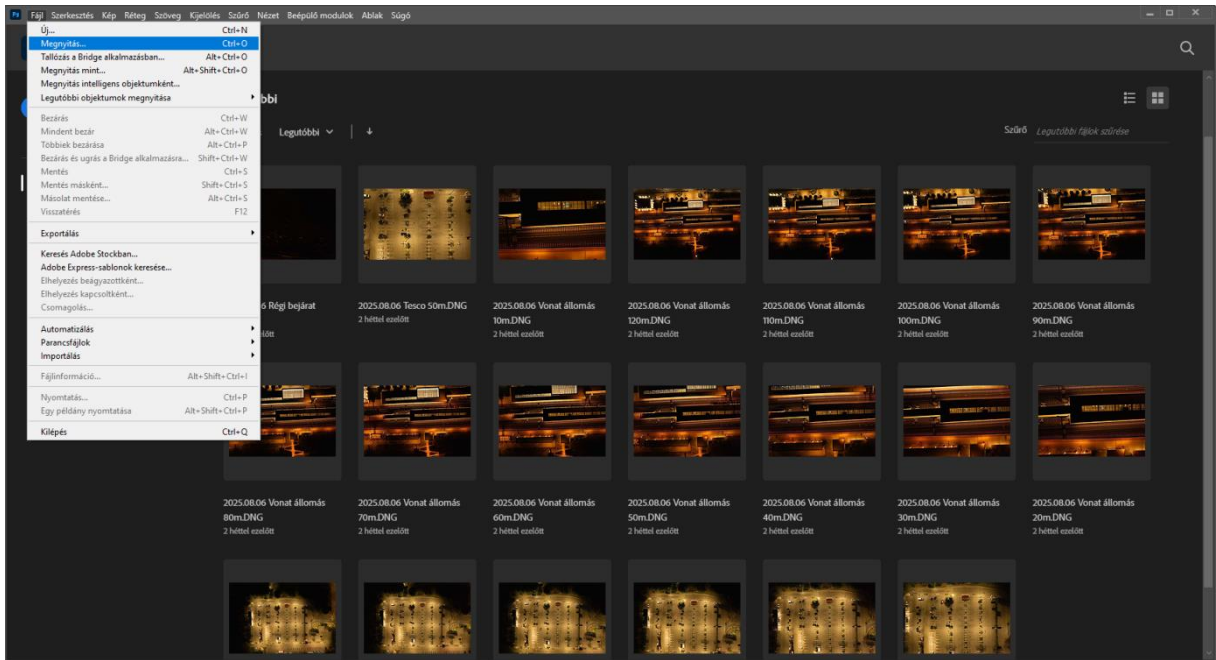
3.5. A képek átalakítása

A felvételek RAW formátumban, 10 bites színmélységben, ISO 6400-as érzékenységgel és 1/50-es zársebességgel készültek. Összesen az öt mérés során 456 fotót készítettem a drón kamerájával. A felvételek feldolgozásához szükségem volt egy olyan programra, amelyben könnyedén tudok képeket szerkeszteni, átalakítani így az Adobe Photoshop 2025 nevű szoftverre esett a választásom. A felvételek szerkesztésének menetét egyesével lépésről lépésre, képekkel illusztrálom. Az összes fotóval végigmentem ezeken a lépéseken. Elsőnek kiválasztottam a drón által készített, szerkeszteni kívánt képet, jelen esetben a 28. ábrán látható képet.



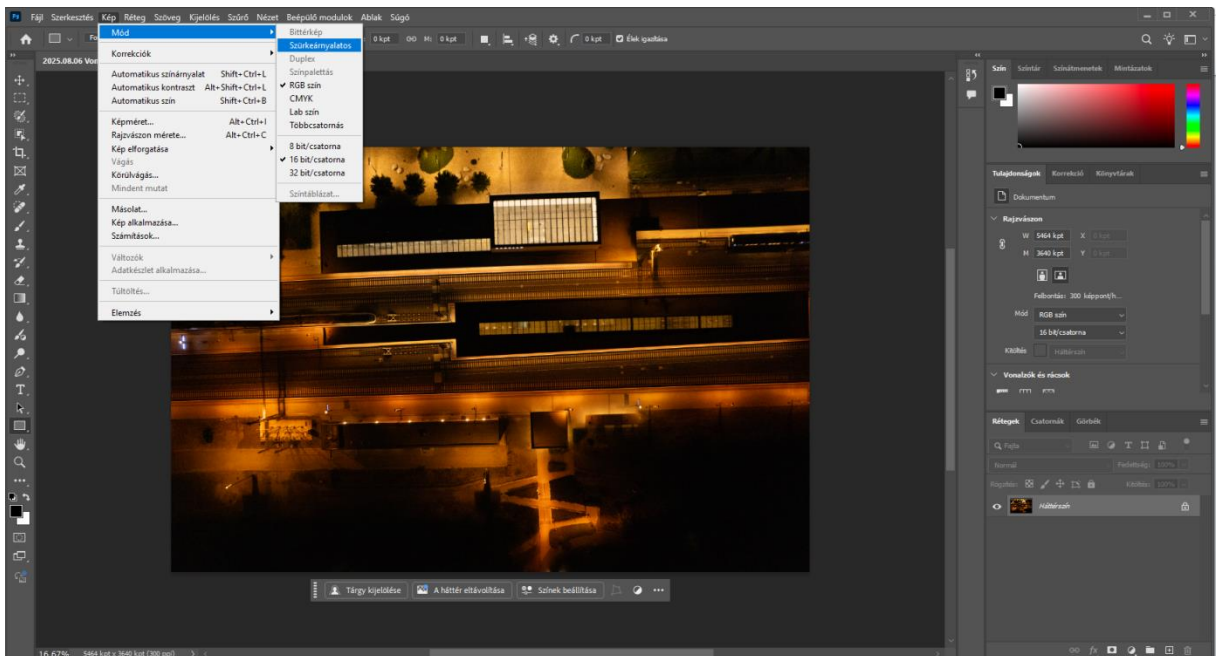
28. ábra 2025.08.06 Vasútállomás éjszakai fényei 100 méter magasságból (Forrás: saját kép)

Második lépés a felvételek beimportálása volt, az Adobe Photoshop 2025-be. A képek, programba importálása a következőképpen történt. A Photoshop programot elindítva, bal fölül a „Fájl” legördülő menüt megnyitva, kiválasztottam a „Megnyitás...” lehetőséget, ahogyan az a 29. ábrán látható, majd feltöltöttem az éppen szerkeszteni kívánt képet.



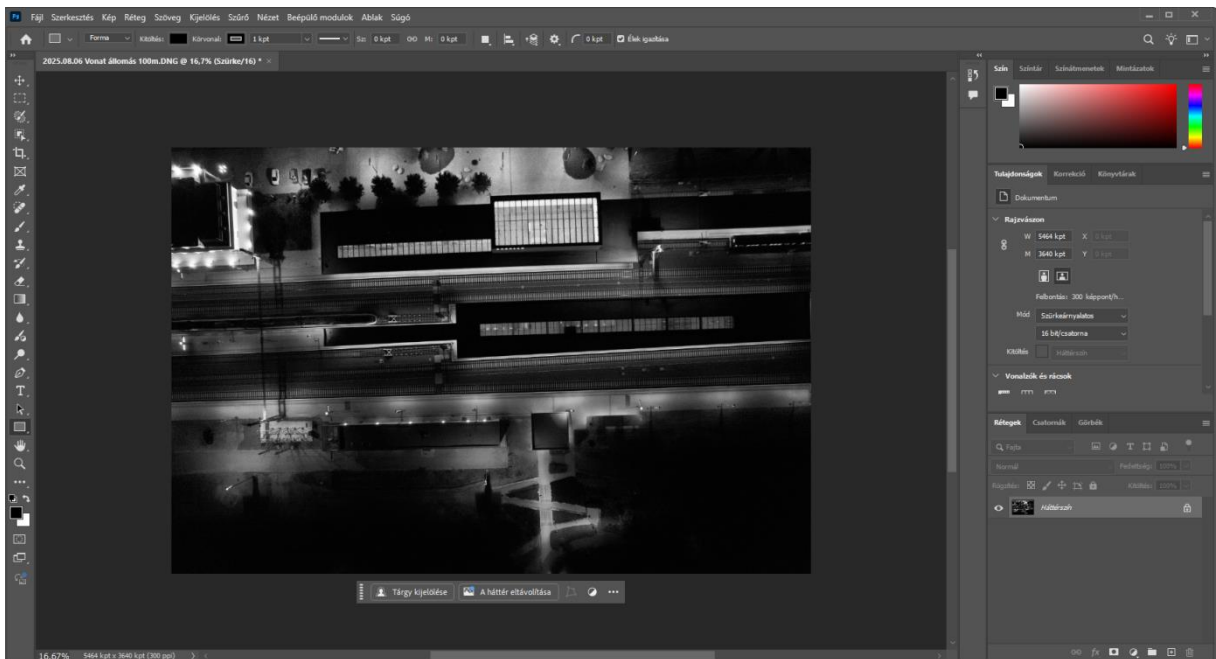
29. ábra Adobe Photoshop 2025 képek beimportálása (Forrás: saját kép)

A következő lépés az, hogy az eredeti fotót átalakítjuk bármiféle korrekció nélkül, szürkeárnyaltosra (greyscale), annak érdekében, hogy a mérési helyszínek és a fényforrások színe között lévő eltéréseket kizárjuk. Ezt a „Kép” legördülő menün és a „Mód” kiválasztásánál lehet megtenni, ezt a 30. ábrán prezentálom.



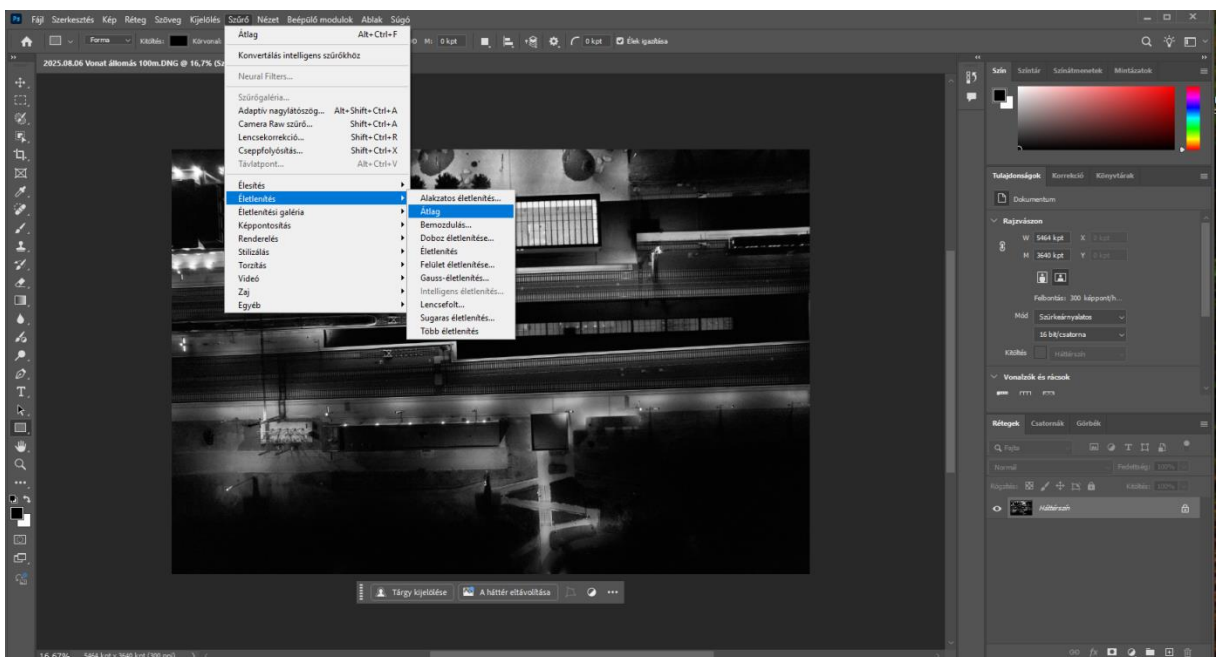
30. ábra A felvételek szürke árnyaltossá alakítása (Forrás: saját kép)

A fotók szürke árnyalatosra alakításakor a szoftver törölni fogja a színinformációkat, ezután a fotó a 31. ábrán lévő képhez hasonlóan, csak a szürke árnyalatait fogja tartalmazni.

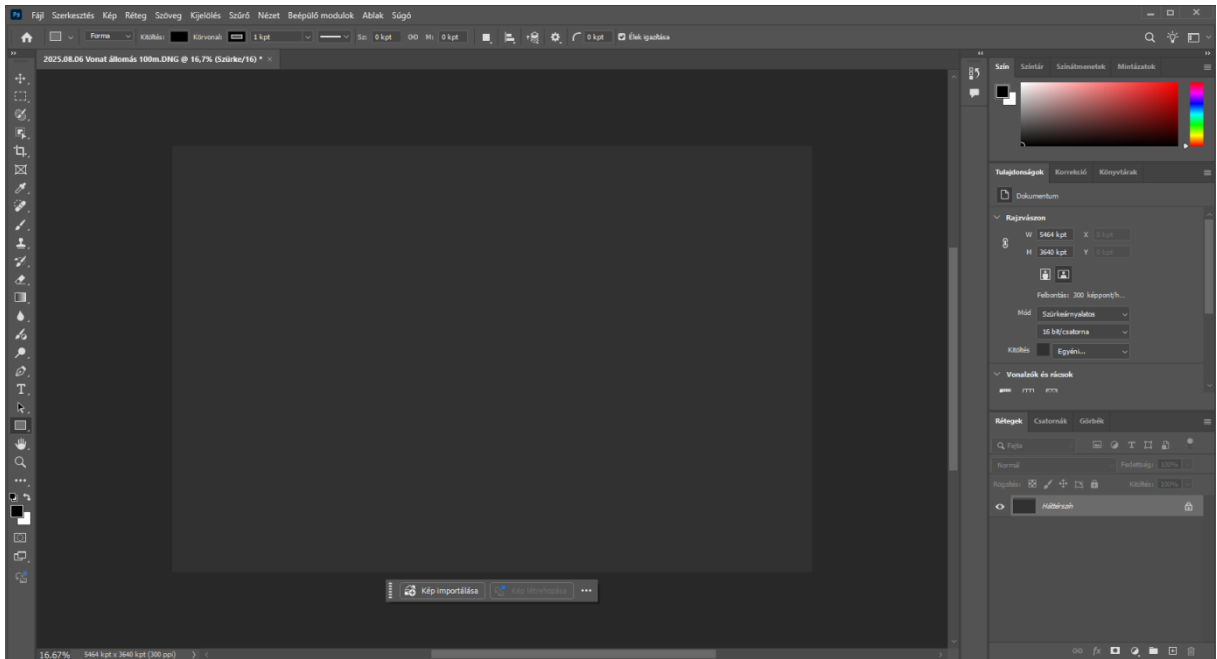


31. ábra 2025.08.06 Vasútállomás éjszakai fényei 100 méter magasságból, szürke árnyalatokban (Forrás: saját kép)

A negyedik lépés az lesz, hogy a képen lévő pixeleknek vesszük az átlag színét. A felvétel átlag szürke szintét, úgy tudjuk megkapni, hogy a „Szűrő” legördülő menün belül az „Életlenítés” opciót megnyitva, kiválasztjuk az „Átlag” lehetőséget, ez a 32. ábrán látható. Ezzel a lépéssel a pixelek átlagát veszi a program. Ekkor a teljes kép egyszínű szürke, a kép átlag szürke színére fog változni, ahogy az a 33. ábrán is látható.

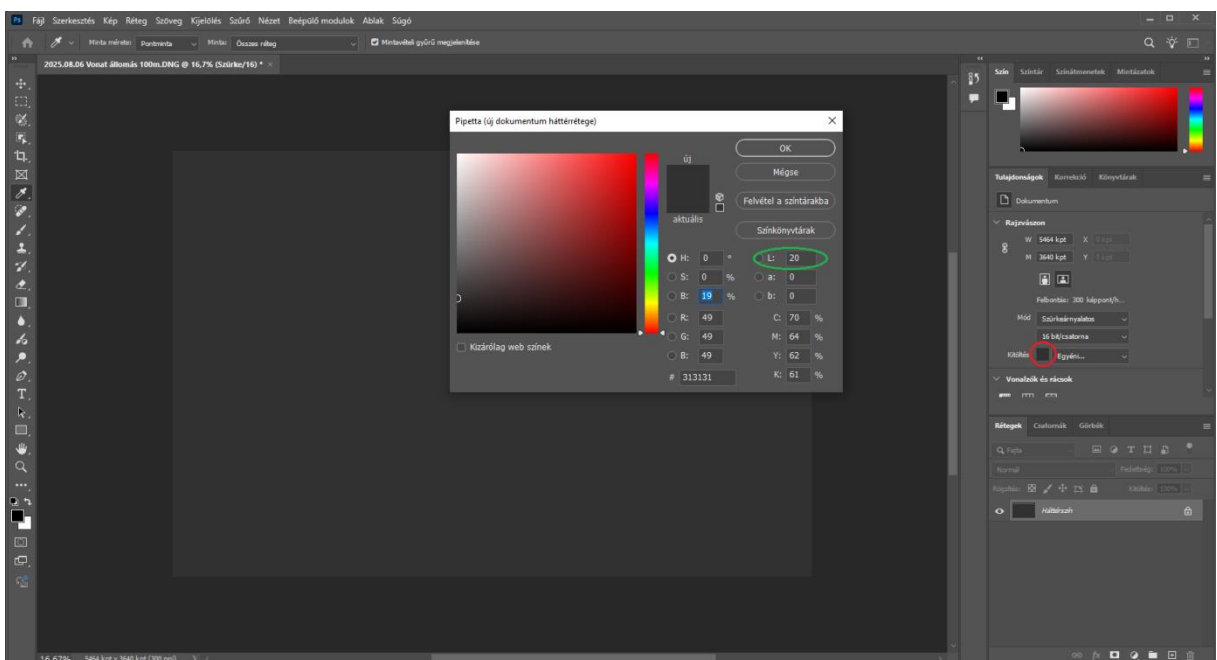


32. ábra A kép átlag szürke színre alakítása (Forrás: saját kép)



33. ábra A kép átlag szürke színe (Forrás: saját kép)

Utolsó lépésnek meg kell nézni a kép CIELab „L” értékét, melyet a jobb oldalon lévő „Kitöltés” mellett lévő színre kattintva érhetünk el, a 34. ábrán piros karika jelöli. A 34. ábrán láthatóak a CIELab egyéb értékei is. Az „a” érték adná meg a kép zöld-piros színét, a „b” érték pedig a sárga-kék színét, de mivel az előző lépések során töröltük a szín információkat, ezért ezek az értékek 0-át mutatnak. Viszont az „L” érték, mely a kép fényességét adja meg, az egy szám lesz 0 és 100 között, nekem erre az értékre volt szükségem, ez a 34. ábrán zöld karikázással látható.



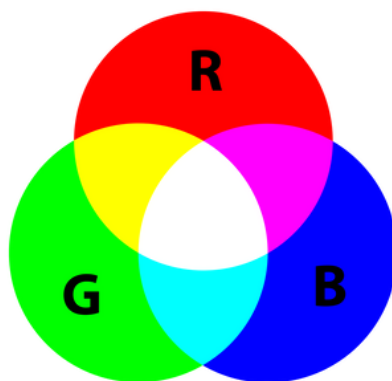
34. ábra A CIELab „L” értékének jelölése (Forrás: saját kép)

3.6. A színterek bemutatása

A szemünk egy nagyon bonyolult vizuális feldolgozó rendszer, aminek a színlátását teljes mértékben visszaadni szinte lehetetlen. Az eszközök, szoftverek, programok melyeket használunk, nem képesek ebben a teljes színskálában dolgozni, amit mi a szemünkkel érzékelünk, ezáltal egy előre meghatározott tartományban, úgynevezett színtérben működnek. Sokféle színtér létezik, például a HSL, a HVS, az egyik leggyakrabban használt színtér az RGB színtér, de CMYK színteret is elő szeretettel szokták alkalmazni. A különböző színterek abban különböznek egymástól, hogy milyen széles spektrumú színeket tudnak létrehozni, előállítani. A színterek lényegében úgy kell elképzelni, mint egy virtuális koordináta rendszer, melyben a színeket ábrázoljuk. Én a méréseim során készített képek feldolgozásához, számadat kinyeréséhez a CIE Lab színteret használtam.

3.6.1. RGB színtér

Az RGB rövidítésben az „R” a pirosat (red), a „G” a zöldet (green) és a „B” a kékét (blue) jelöli. Az RGB színteret a virtuális tér, a számítástechnika, elektronikai eszközök használják. Például a monitorunk és telefonunk kijelzőjén megjelenő képet is RGB színkeverés adja. A digitális képalkotás és a szemünk is RGB alapú. A három alapszín keveréséből kapunk meg minden színt, amit a monitorunk vagy telefonunk kijelzőjén látunk, a különbség csak annyi, hogy melyik színből milyen arányban lesz jelen. Így a színkódunkat, az RGB színtérben három értékből, a pirosból, zöldből és kékből fogjuk megkapni. Az RGB színtérben, mind a három alapszín egy 0 és 255 közötti skálán mozog. Az RGB színtér a 35. ábrán látható.



35. ábra Az RGB színtér (Forrás: <http17>.)

3.6.2. CIE Lab színtér

A fotók feldolgozásához, a képekből való számszerű adatok kinyeréséhez a CIE Lab színteret használtam. A CIE Lab színtér jellemzéséről ebben a részben nem írok, mivel azt már az irodalomforrásban bemutatam. Azért ezt a színteret választottam, mivel itt a három érték közül, amelyből a színkód összeáll, az egyik, az „L” érték a fényesség. A másik két érték, az „a” és a „b” érték adja meg a színt, amelyek, hogyha nulla értéket képviselnek, akkor a felvételek, fotók közötti színkülönbségeket, magát a színt, mint befolyásoló tényezőt, így ki tudjuk zárni. Az „L” érték pedig, lényegében attól fog függeni, hogy a drón által készített kép milyen arányban és mennyi világosabb, sötétebb részt fog tartalmazni.

3.7. Excel

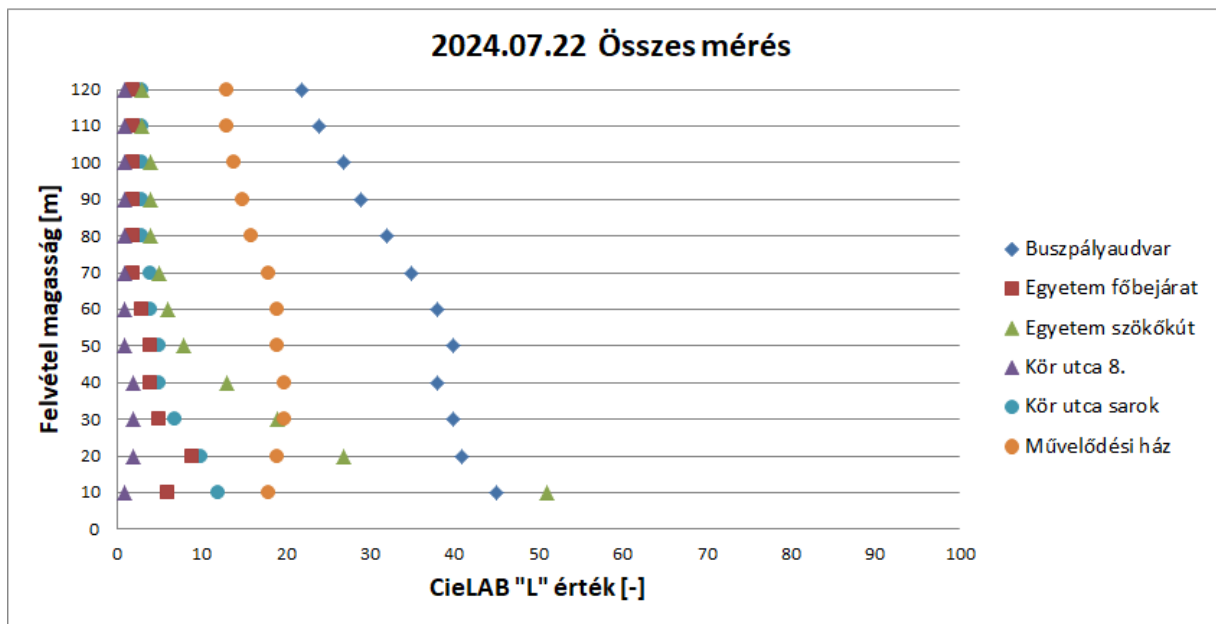
Az adatok, kapott értékek feldolgozására a Microsoft Excel programot használtam. Az excelben sok alapvető statisztikai függvényt alkalmaztam. Például, az átlag függvényt „=ÁTLAG()”, a minimum „=MIN()” és maximum „=MAX()” függvényt, a szórás függvényt „=SZÓRÁS()”, a korreláció keresésére a „=KORREL()” függvényt és a lineáris regresszióra pedig a „=LIN.ILL()” függvényt.

Az „L” értékeket, amiket az Adobe Photoshop 2025 segítségével, az előbbieken leírt módon kinyertem, azokat vittem be az excelbe, majd táblázatokat és grafikonokat készítettem belőle. Alapvetően öt nagy táblázatot készítettem el, melyek egy-egy mérési napot foglalnak magukba. A táblázatok a felvételi magasságot tartalmazzák méterben megadva, és a képekből a photoshop segítségével kinyert CIE Lab „L” értékeket, mérési helyszínek szerint. Ezekből a táblázatokból készítettem pont grafikonokat, olyat, amely tartalmazza az azon a mérési napon mért összes helyszínen mért adatot, de készítettem olyan grafikonokat is, melyek csak egy-egy mérési helyszín adatait tartalmazzák. Azokra a grafikonokra, amelyek csak egy-egy mérési helyszín adatait tartalmazzák, felvettem egy logaritmikus trendvonalat és kiírtam az R^2 értékét. Azért a logaritmikus trendvonal mellett döntöttem, mivel vizuális megerősítés után látszódott, hogy a kapott értékek inkább logaritmikusan változnak, mint lineárisan vagy esetleg exponenciálisan. Az öt táblázaton kívül, készítettem olyan táblázatokat, melyek külön egy-egy mérési helyen több alkalommal mért adatokat tartalmaznak, annak érdekében, hogy megfigyelhető legyen, hogy ugyanazon a helyszínen, csak más időpontban mért adatok mennyire mutatják ugyanazon értékeket, vagy térnek el. Ezekből a táblázatokból is készítettem pont grafikonokat.

4. Eredmények és értékelésük

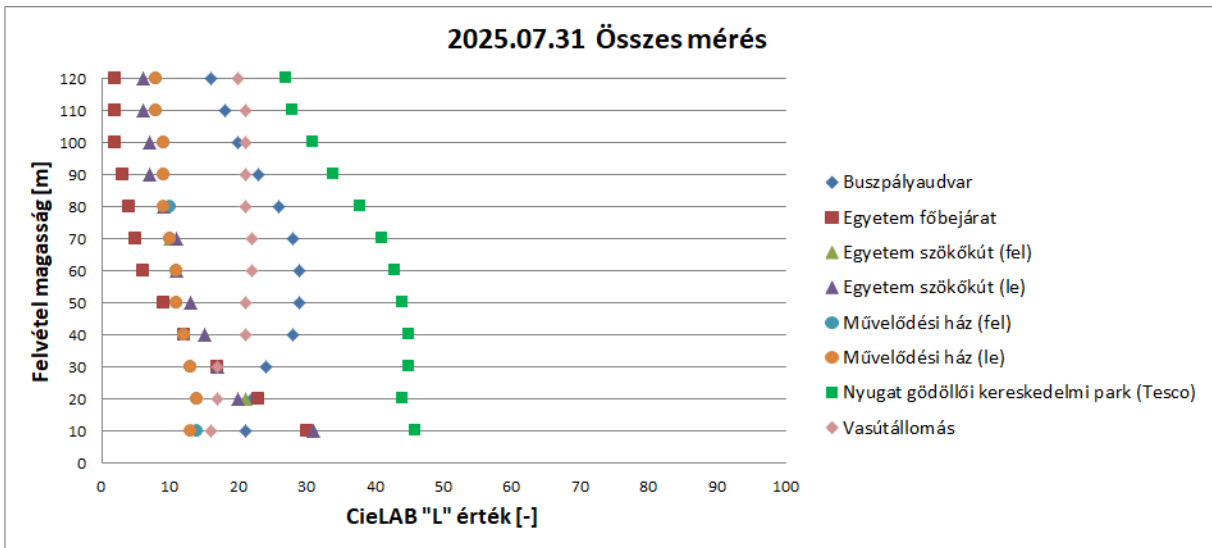
4.1. Összes mérések bemutatása, és vizuális kielemezése

A 36. ábrán látható grafikon az első alkalommal, azaz 2024.07.22.-én készített képekből, majd az azokból kinyert CIE Lab „L” értékekből készült. Az x tengelyen a felvételi magasság látható méterben megadva, míg az y tengelyen az „L” értékek, 0 és 100 között. A továbbiakban is ezt az ábrázolási módszert alkalmaztam. Az „L” érték dimenzió nélküli szám. A grafikonon eltérő színekkel és jelölőkkel ábrázoltam a különböző mérési helyszíneket, és azok értékeit. A grafikon jobb oldalán látható, hogy melyik helyszín milyen színnel és jelölővel van ábrázolva. A grafikonon látható, hogy a különböző helyszínek görbéinek lefutása eléggé eltérő egymástól. A legvilágosabb felvételek, a buszpályaudvarnál készültek. Mondhatni itt volt a hat helyszín közül, a legnagyobb az éjszakai mesterséges megvilágítás mértéke.



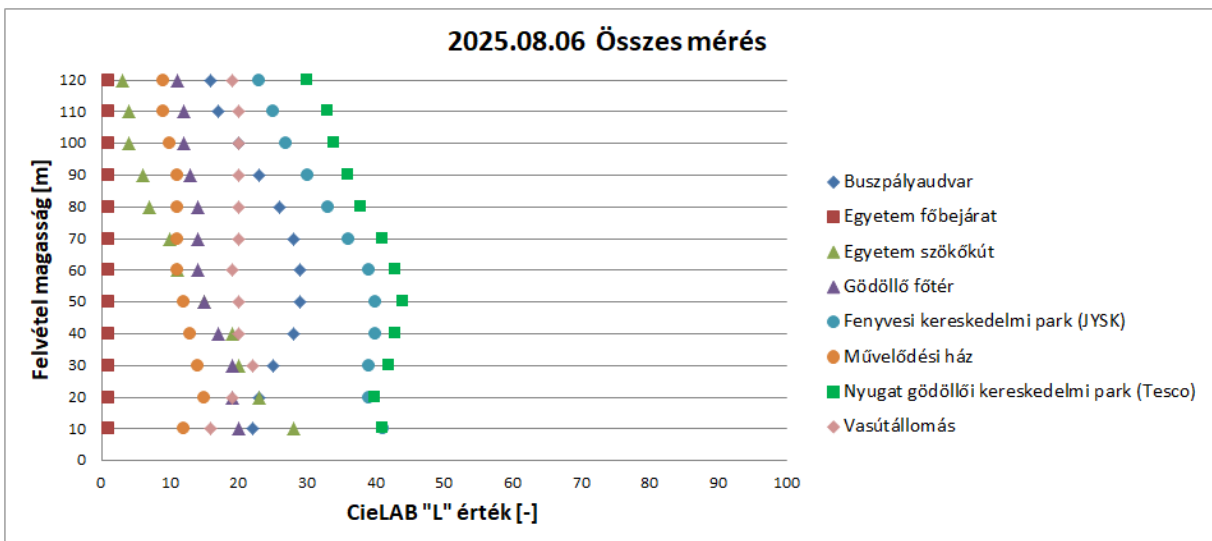
36. ábra 2024.07.22 mérések helyszín szerinti ábrázolása

A 37. ábra a második mérés eredményeit tartalmazza. Tehát ez a 2025. Július 31.-ei felvételekből készült el. Ezen a grafikonon 8 mérést ábrázoltam, ez hat különböző helyszínről származik. A 2024-es mérésekhez hasonlóan sok eltérés van a görbék lefutása között, viszont az ugyanazon a helyszínen mért mérések görbéi szinte teljesen megegyeznek egymással. Ilyen egyezés látható, az egyetem szökőkút fel és lefelé történő mérésénél, de a Művelődési háznál is ugyanez figyelhető meg.



37. ábra 2025.07.31 mérések helyszín szerinti ábrázolása

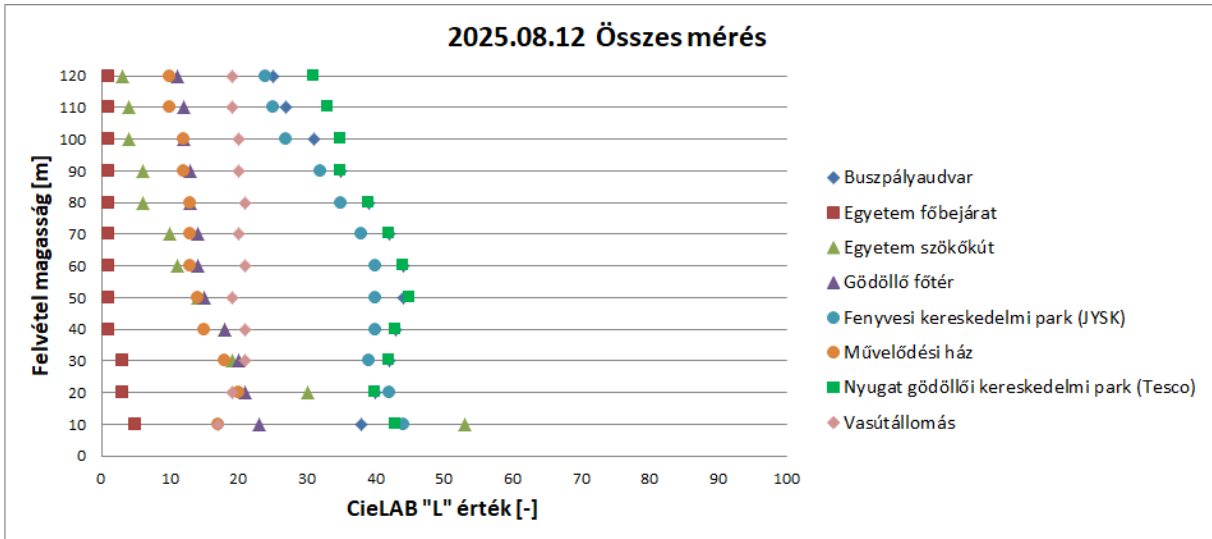
A harmadik alkalommal történt mérés eredményei a 38. ábrán tekinthetők meg. Ezeket a méréseket 2025. Augusztus 06.-án végeztem. Ezen az ábrán már nyolc különböző helyszínen végzett mérések eredményei láthatóak, a két új mérési helyszín a fenyvesi kereskedelmi park (Jysk) és a gödöllői főtér volt. A grafikonon jól látható, hogy a két kereskedelmi park, hasonló görbét ír le, de a Művelődési ház és a főtér görbéi is elég hasonlóak. Az egyetem főbejratánál ekkor felújítás zajlott és a fényforrások le voltak kapcsolva, így az „L” érték végi 1-el volt egyenlő.



38. ábra 2025.08.06 mérések helyszín szerinti ábrázolása

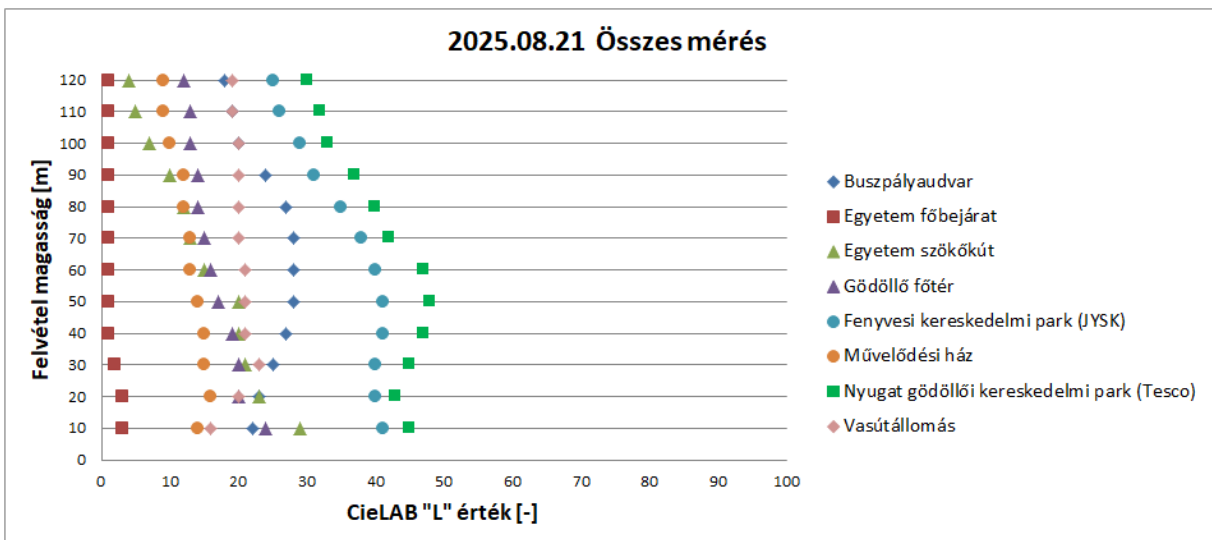
A 39. ábrán látható grafikon a negyedik alkalommal, azaz 2025.08.12.-én készített képekből, majd az azokból kinyert CIE Lab „L” értékekből készült. A harmadik méréssel

megegyezően, itt is ugyanazon a nyolc mérési helyszínen készítettem felvételeket, a két grafikon ezért is nagyon hasonló. Ami megfigyelhető, hogy a buszpályaudvaron készített képek az előző méréshez viszonyítva jóval fényesebbek voltak.



39. ábra 2025.08.12 mérések helyszín szerinti ábrázolása

A 40. ábra az ötödik mérés eredményeit tartalmazza. Tehát ez a grafikon a 2025. Augusztus 21.-ei felvételekből készült el. A méréseket ekkor is ugyanazon a nyolc helyszínen végeztem, ahogy azt a 2025.08.12.-ei és 2025.08.06.-ai mérések során tettem. A grafikon szinte teljesen mértékben megegyezik a harmadik mérésből készült grafikkal.

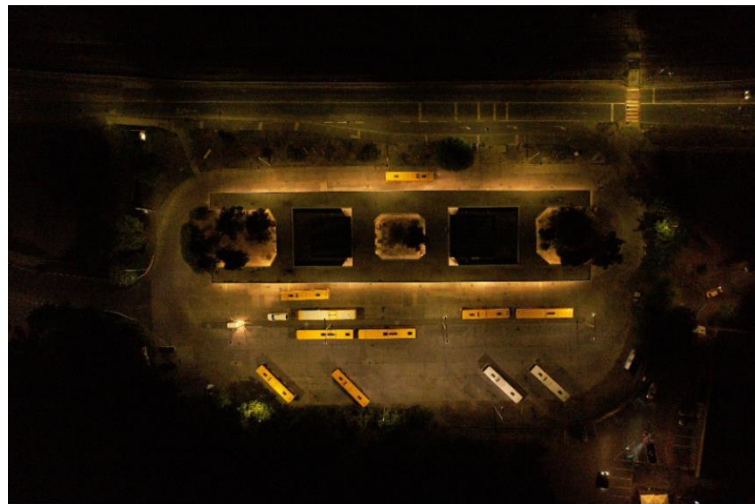


40. ábra 2025.08.21 mérések helyszín szerinti ábrázolása

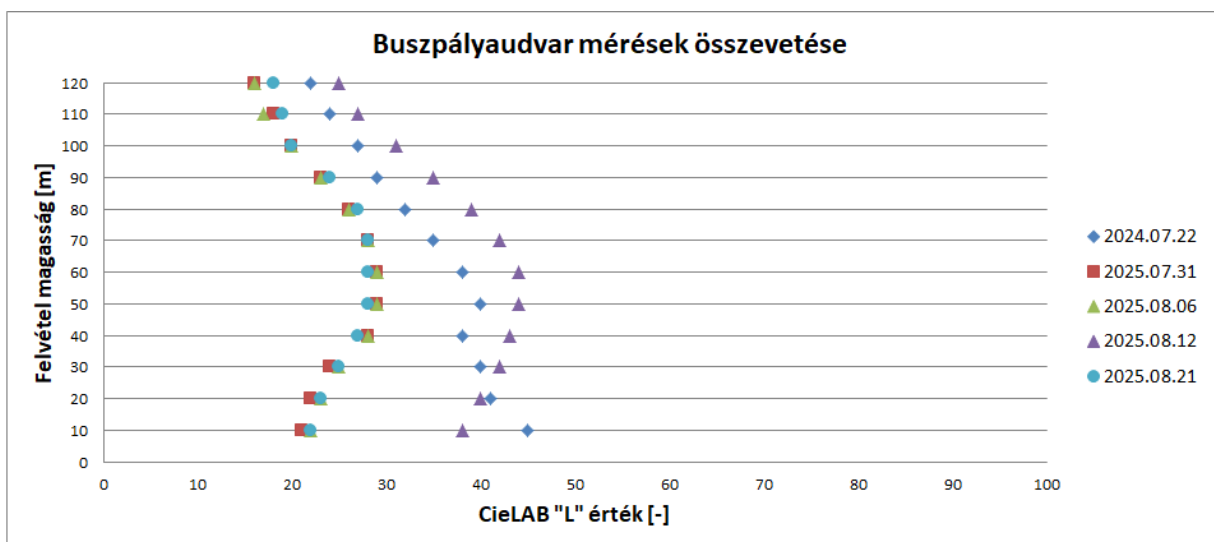
Megállapítható, a mérések alapján, hogy az L érték, a legtöbb esetben 120 méter magasságban veszi fel a legkisebb értéket. Sok görbéről az olvasható le, hogy 90 méter felett csökkenő tendenciát mutat. Azonban nagyon nagy a szórás, a görbék más és más helyszíneken szinte minden esetben jelentősen eltérnek egymástól. Valószínű ez azért alakul így, mivel a helyszínek eltérő mennyiségű és kialakítású fényforrással, eltérő erősségű izzókkal, illetve eltérő mennyiségű és méretű épületekkel, növényzetekkel rendelkeznek. A grafikonok alapján a legjobban kivilágított területek a kereskedelmi parkok és a buszpályaudvar. Ezeken a mérési helyszíneken, még az figyelhető meg, hogy 50 és 60 méter felvételi magasságban készültek a legvilágosabb képek. Négy mérés során a legkevésbé megvilágított helyszín pedig az egyetem főbejárata volt, ez annak volt köszönhető, hogy a bejárat felújítás zajlott éppen. Az első mérés alkalmával a legsötétebb képek a Kör utcában készültek. Az itt készített fotók nagy részén, lakó épületek vannak, melyek nem úgy verik vissza a fénysugarakat, (mint mondjuk egy parkoló aszfaltja,) vagy éppen elnyelik egy részét azoknak.

4.2. A gödöllői buszpályaudvar, kiválasztott helyszínen bemutatása

A gödöllői buszpályaudvaron (GPS koordináta: 47°35'57.1"N 19°21'08.6"E), 41. ábra, mind az öt mérés alkalmával készítettem felvételeket. A 39. ábrán látható ezeknek a méréseknek az összehasonlítása. A grafikon jobb oldalán látható, hogy mikori mérés milyen színnel és jelölővel van ábrázolva. A második, harmadik és ötödik mérés eredményei erős korrelációban vannak, azonban a negyedik mérés, habár korrelál a többi méréssel, de a görbéjének lefutása 60 méterig, majdnem kétszer annyira világos. Az első mérés görbéje 40 méter fölött a többihez viszonyítva azonos ívet ír le, viszont alatta teljesen eltérő a többi négy méréshez képest. Az öt mérés során nem vettünk észre semmi változtatást a buszpályaudvar kivilágítása, fényforrásai között.

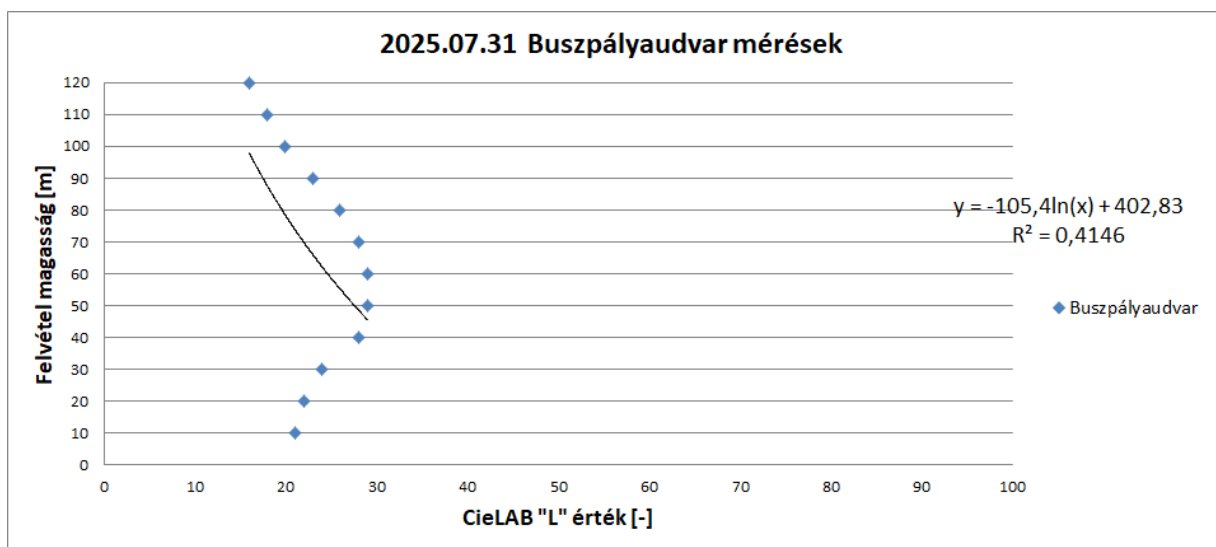


41. ábra Buszpályaudvar éjszaka 120 méter magasságból



42. ábra Buszpályaudvar méréseinek összehasonlítása

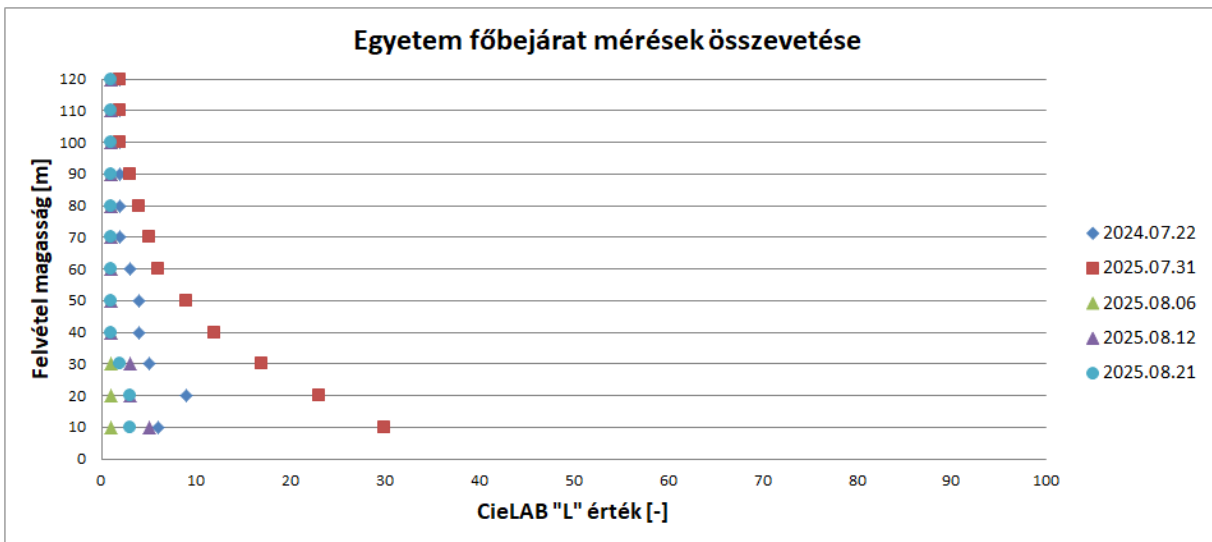
Az öt mérés közül a legrelevánsabb, amely leginkább tükrözi a buszpályaudvar fényszennyezését, jelen esetben a 2025.07.31.-ei mérés, és ennek a grafikonját mutatom be, a többi mérés grafikonja, pedig a mellékletben található. Külön a 2025.07.31.-ei mérésből készített grafikon a 43. ábrán látható. A görbére felvettem egy logaritmusos trendvonalat és kiírtam az R^2 értékét, ez a jobb oldalon látható. A trendvonal illeszkedése alacsony korrelációt mutat ($R^2=0,4146$). 40 méter magasságban van egy nagyobb ugrás a görbén, ez annak volt köszönhető, hogy a 40 méter felett készített felvételeken, már a buszpályaudvar másik oldalán lévő fényforrások is látszódtak. 60 méter magasságig még egy kis növekedés látható, ez a buszparkoló fényforrásai miatt alakult így. 60 méter felett csökkenő tendencia figyelhető meg.



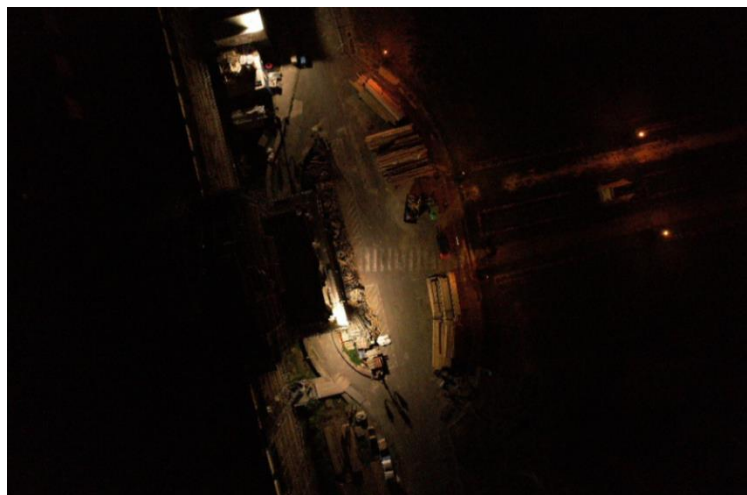
43. ábra 2025.07.31 buszpályaudvar méréséből készített grafikon

4.3. Egyetem főbejárata, kiválasztott helyszín bemutatása

Az egyetem főbejárata (GPS koordináta: 47°35'34.8"N 19°21'40.5"E) egy olyan helyszín volt, ahol mind az öt mérés során készítettem fotókat. Az öt mérést egy grafikonon ábrázoltam, ezt a 44. ábrán szemléltetem. A 2025.08.06.-ai, a 2025.08.12.-ei és a 2025.08.21.-ei mérések nagyon hasonló görbét mutatnak, ekkor az egyetem főbejárata felújítása zajlik, este tíz óra után már nem sok fényforrás volt felkapcsolva. A 2024.07.22.-ei mérés eltérő az előzőekhez képest, ekkor még nem kezdődött meg a felújítás, még a régi fényforrások voltak jelen. Legjobban a második mérés görbéje tér el a többitől, ekkor már ugyanúgy zajlott a felújítás, mint a következő három mérésnél, viszont itt valami oknál fogva még fel voltak kapcsolva a munkákhoz használt reflektorok, fényforrások ez a 45. ábrán látható.

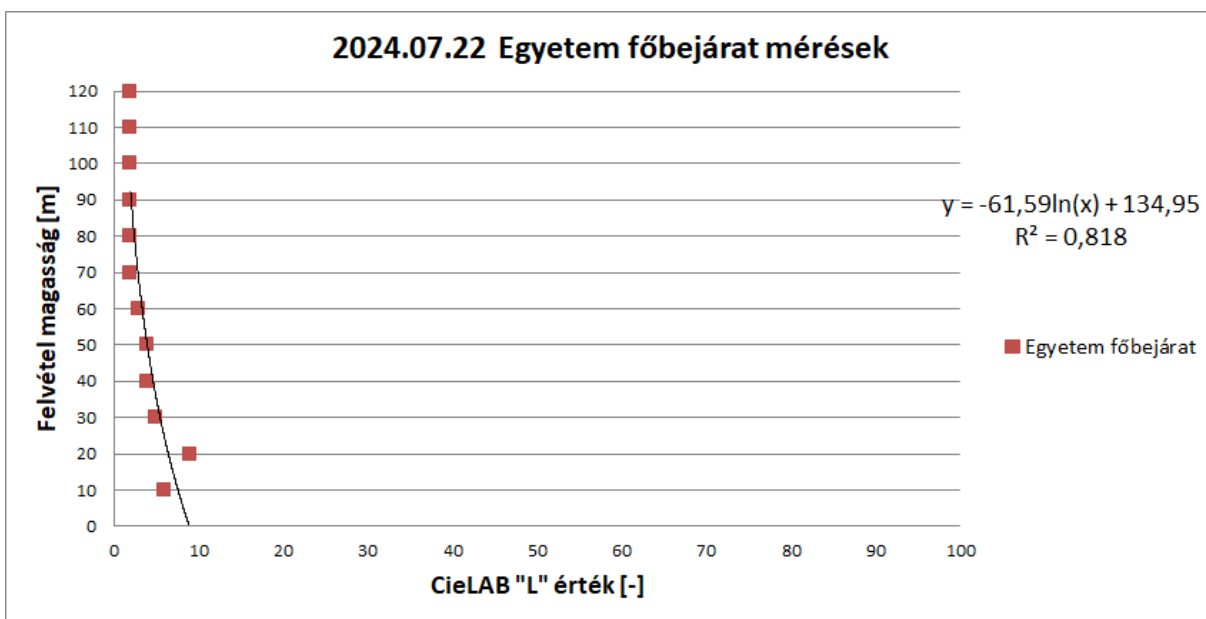


44. ábra Egyetem főbejárata mérések összehasonlítása

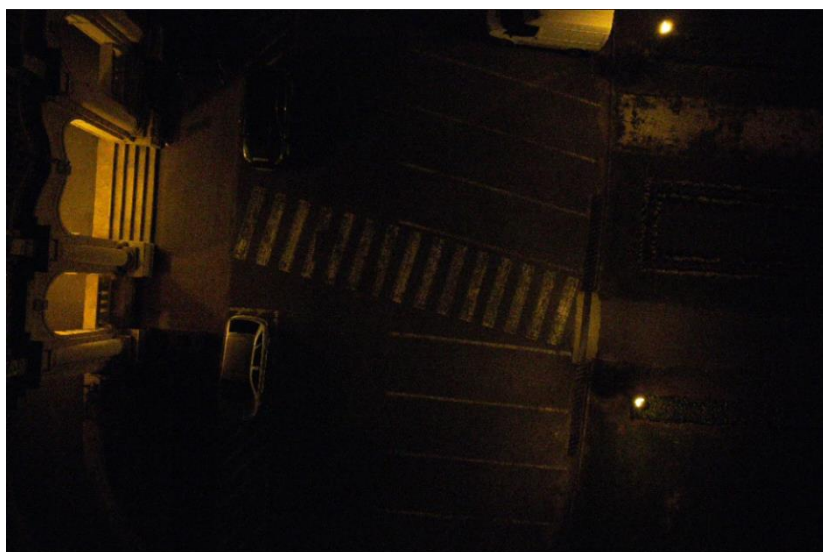


45. ábra 2025.07.31 egyetem főbejárata légi fotója, 60 méter magasságból (Forrás: saját kép)

Az öt mérés közül, legjobban talán a 2024.07.22.-ei mérés a legrelevánsabb, ezért az egyetem főbejáratának fényszennyezését ezen a grafikonon mutatom be, a többi mérésből készített grafikon a mellékletben megtalálható. A 2025.07.22.-ei mérésből készített grafikon a 46. ábrán látható. A görbére felvettem egy logaritmikus trendvonalat és kiírtam az R^2 értékét, ez a grafikon jobb oldalán látható. A trendvonal és a görbe között korreláció figyelhető meg ($R^2=0,818$). A görbén 20 méternél van egy nagyobb kiugrás, ez annak köszönhető, hogy a foton ekkor már láthatóak a főbejárat előterének a fényei, ez a 47. ábrán megtekinthető. 30 métertől 120 méterig enyhe csökkenés figyelhető meg.



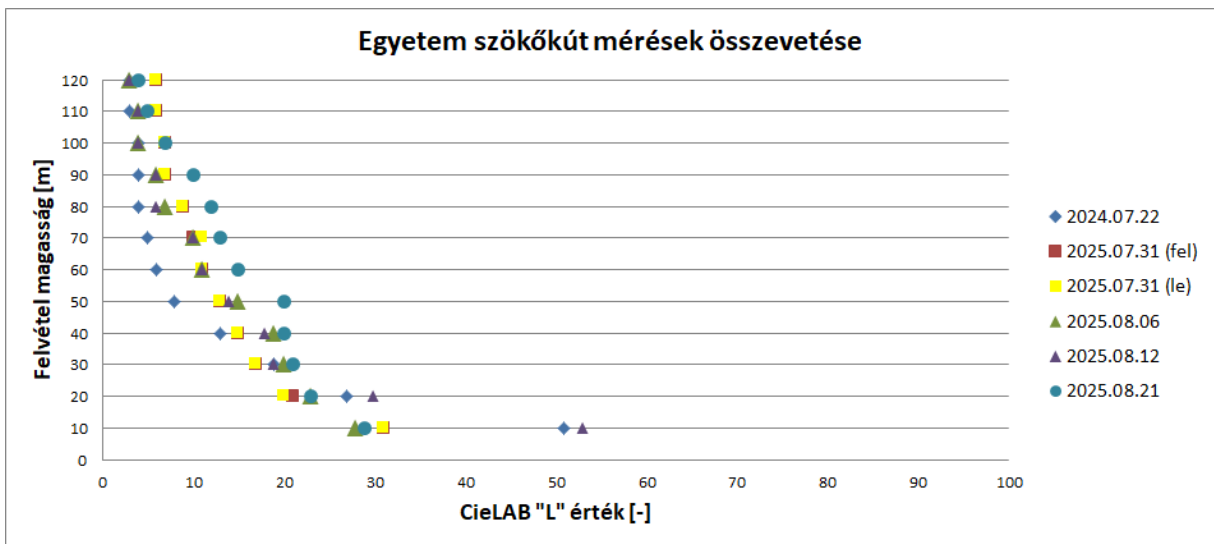
46. ábra 2024.07.22 egyetem főbejárat méréséből készített grafikon



47. ábra 2024.07.22 egyetem főbejárat éjszakai fényei 20 méter magasból
(Forrás: saját kép)

4.4. Egyetem szökőkút, kiválasztott helyszín bemutatása

Az egyetemi szökőkútnál (GPS koordináta: 47°35'39.8"N 19°21'39.7"E), az előző két helyszínhez hasonlóan, mind az öt mérés alkalmával készítettem felvételeket. A 48. ábrán látható ezeknek a méréseknek az összehasonlítása. Az előző két mérési helyszínhez képest, itt nincsen annyira nagyon eltérő görbék. A második mérés alkalmával, azaz 2025.07.31.-én a drónnal felfelé emelkedve és visszaereszkedve is készítettem felvételeket, ezek szinte ugyanazt, a görbét adták. A harmadik és negyedik mérés is elég hasonló görbén fut le a másodikhoz viszonyítva. Az első mérés görbéje tér el egy kicsit a többitől, ennek az oka az lehet, hogy ekkor még a szökőkút és környéke nem volt felújítva, a többi méréssel ellentétben. A 46. ábrán látható a szökőkút felújítás előtt és után. Megállapítható hogy 40 és 90 méter között jóval világosabb képek készültek a felújítás után, ennek oka az új fényforrások mennyiségében rejlik, ahogy az a 49. ábrán is látható.

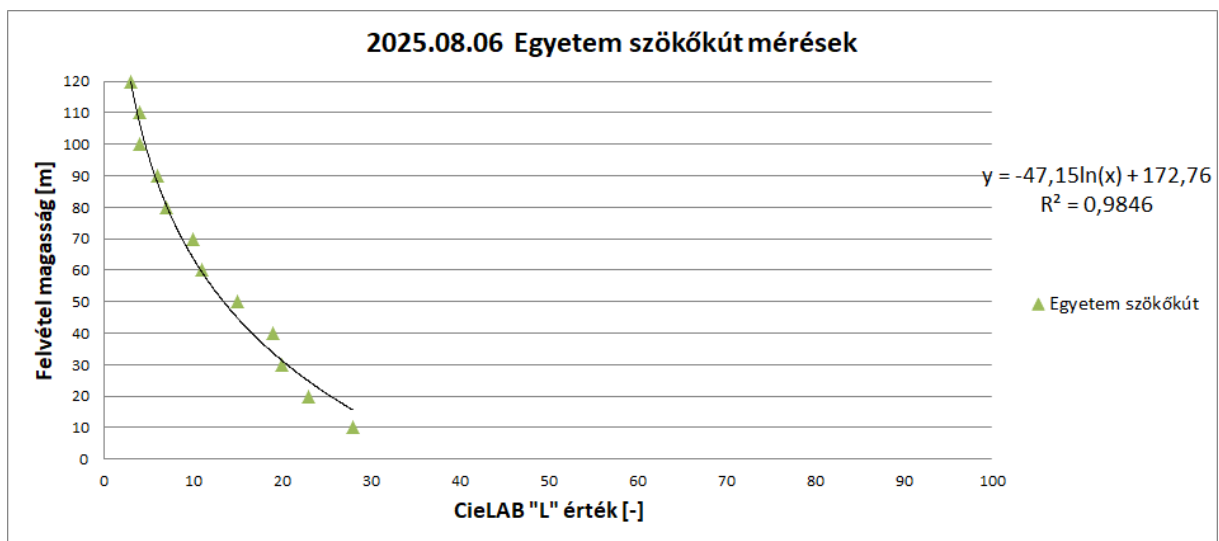


48. ábra Egyetemi szökőkút mérések összehasonlítása

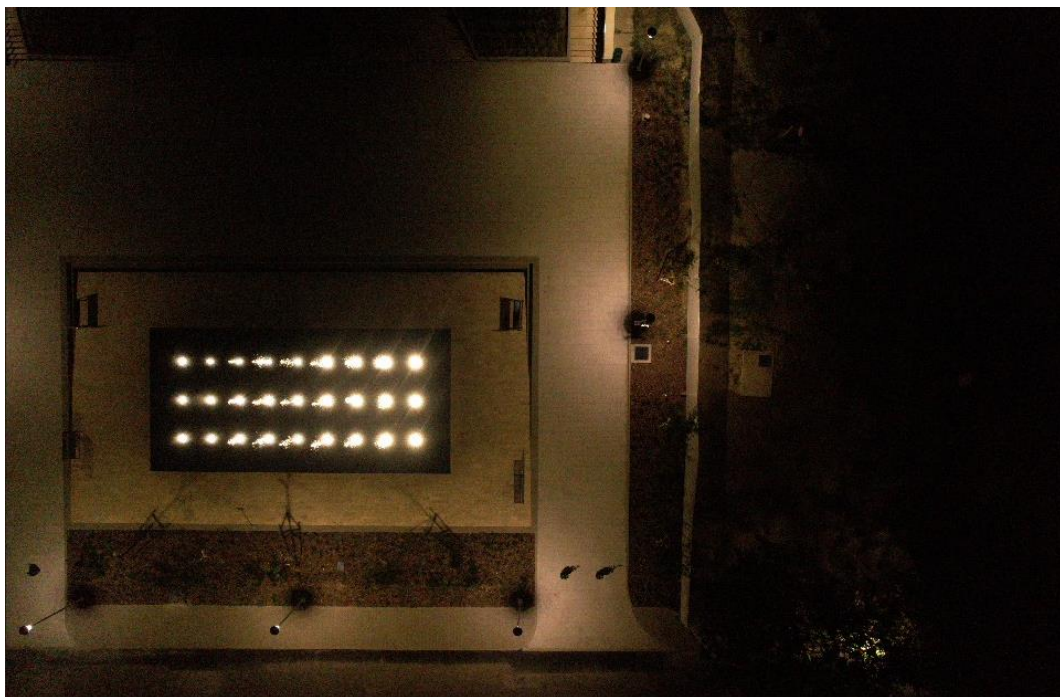


49. ábra Egyetemi szökőkút 120 méteres magasságból, baloldalon a felújítás előtt (2024), jobb oldalon a felújítás után (2025) (Forrás: saját kép)

Az egyetemi szökőkútnál végzett mérésekből a 2025.08.06.-ai mérést választottam, mert ez a legrelevánsabb a hely fényszennyezésének elemzésére, a többi mérésből készített grafikon a mellékletben látható. A görbére felvettem egy logaritmikus trendvonalat és kiírtam az R^2 értékét, ez a grafikon jobb oldalán látható. A trendvonal illeszkedése erős korrelációt mutat ($R^2=0,9846$), nem csak ennél az egy mérésnél, hanem a többinél is. 40 méter magasságban van egy kisebb kiugró érték, ezt valószínű az okozta, hogy a szökőkút másik oldalán lévő fényforrások fényei ebben a magasságban már látszódnak a légi felvételen, 51. ábrán megfigyelhető.



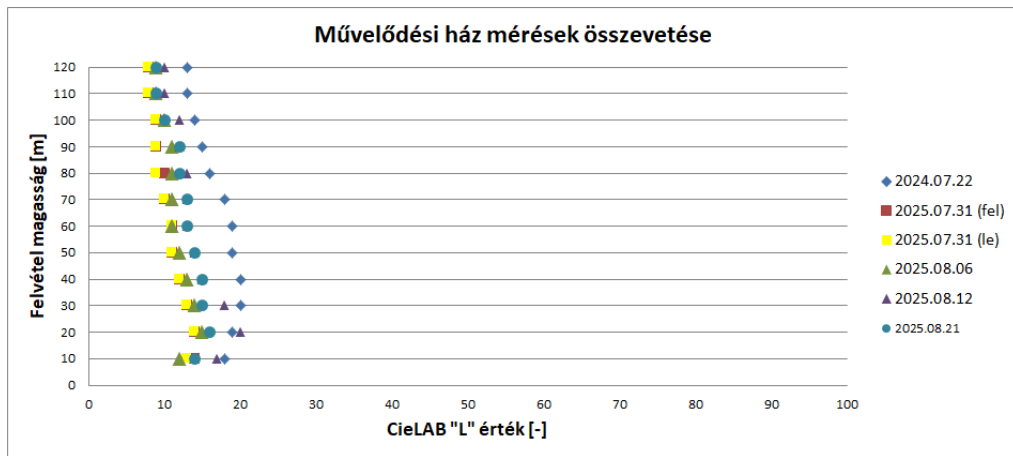
50. ábra 2025.08.06 egyetemi szökőkút méréseiből készült grafikon



51. ábra Egyetemi szökőkút 40 méteres magasságból (Forrás: saját kép)

4.5. További helyszínek bemutatása

A Művelődési háznál (GPS koordináta: 47°35'54.9"N 19°21'02.7"E) is mind az öt alkalommal készítettem légi fotókat. A 52. ábrán látható ezeknek a méréseknek az összehasonlítása. A 2025.07.31.-ei mérés során a drónnal felfelé emelkedve és visszaereszkedve is készítettem képeket, ezek szinte ugyanazt, a görbét adták. A görbék lefutása nagyon hasonló, a 2024-es értékek nagyobbak valamivel. Megállapítható az első mérésekkel szemben, itt a 120 méteres magasságig szinte alig látható csökkenés a legtöbb esetben. A görbékre felvett trendvonalak korrelálnak, az R^2 értéke 0,80-0,95 között van.

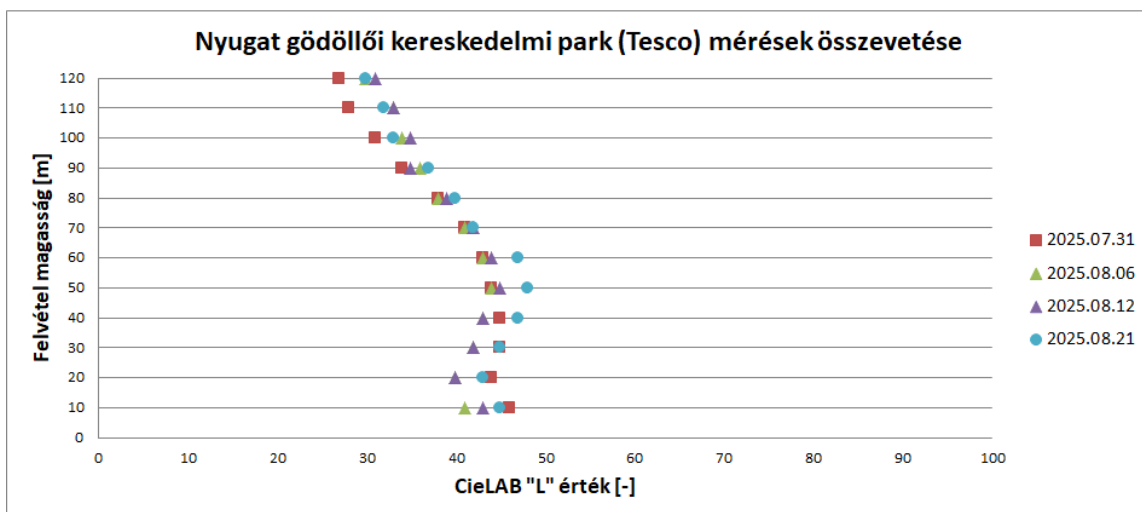


52. ábra Művelődési ház méréseinek összehasonlítása

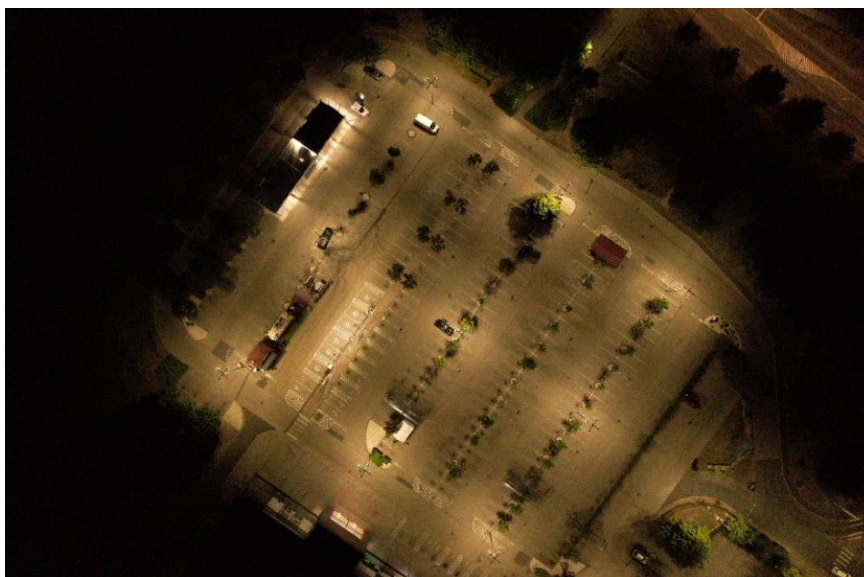


53. ábra Művelődési ház éjszakai fényei 120 méter magasságból (Forrás: saját kép)

A Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) (GPS koordináta: 47°36'36.1"N 19°20'15.5"E) mérési helyszínen négy alkalommal végeztem méréseket. Az 54. ábrán látható a mérések összevetése. Mind a négy mérésből készített görbe szépen illeszkedik egymáshoz. A görbéken az figyelhető meg, hogy 20 méterig csökken, 20 méter és 50 méter között növekszik, majd 50 méter felett megint csökkenő tendenciát mutat. A görbékre felvett trendvonalak korreláció szempontjából a következők: $R^2 = 0,8637$; $0,6805$; $0,6778$; és $0,7345$.

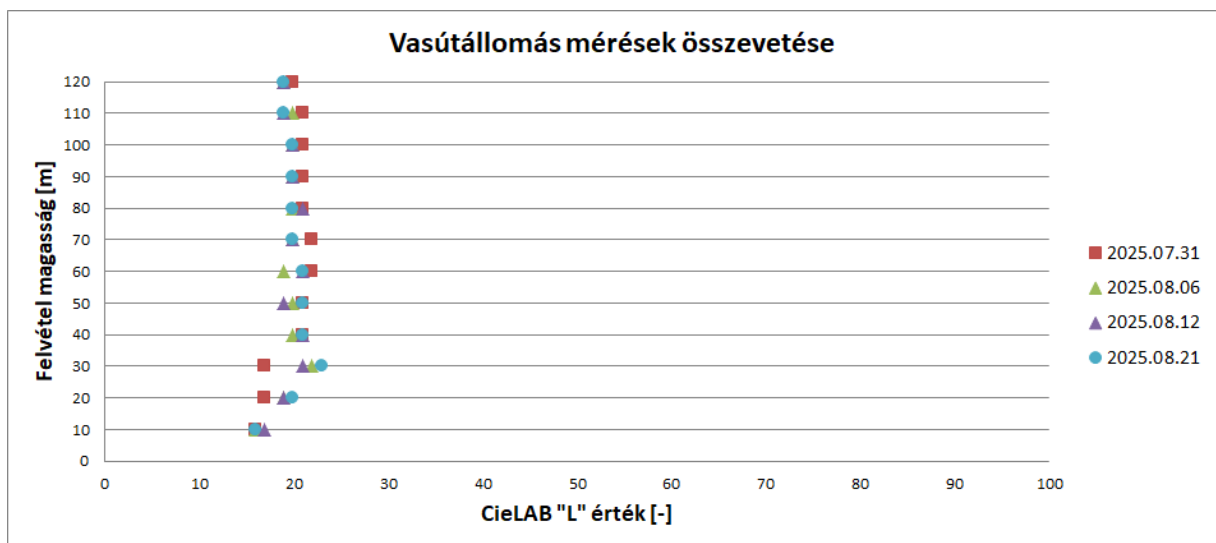


54. ábra Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) méréseinek összehasonlítása



55. ábra Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) 120 méter magasságból
(Forrás: saját kép)

A vasútállomáson (GPS koordináta: 47°35'33.9"N 19°21'31.0"E) is négy alkalommal készítettem légi felvételeket. Az négy mérés eredményeit egy grafikonon ábrázoltam, ezt az 56. ábrán szemléltetem. A négy görbe végig szépen illeszkedik egymáshoz, egyedül a 2025.07.31.-ei mérés 20 méteres és 30 méteres értékei térnek el kissé a többitől. A grafiknról jól leolvasható, hogy 30 méterig kis növekedés figyelhető meg, majd 30 méter felett az L érték egy 20-as stagnáló értéket vesz fel. A trendvonalak egyáltalán nem korrelálnak a görbéhez, az R^2 a legtöbb esetben a 0,1-et se éri el, ahogy az látható a mellékletben az 68. ábrán.

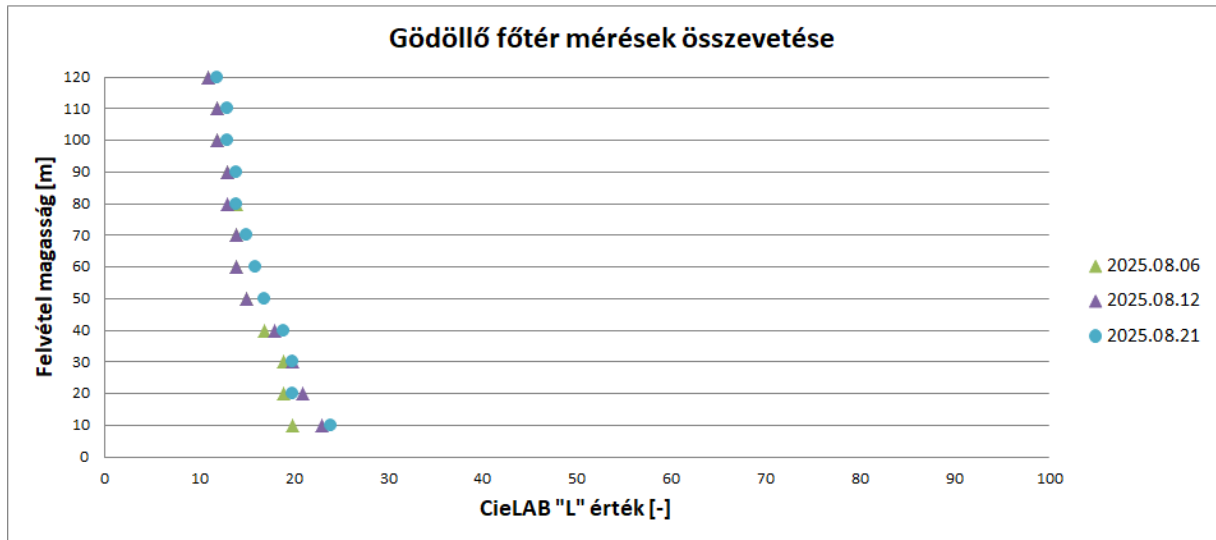


56. ábra Vasútállomás méréseinek összehasonlítása



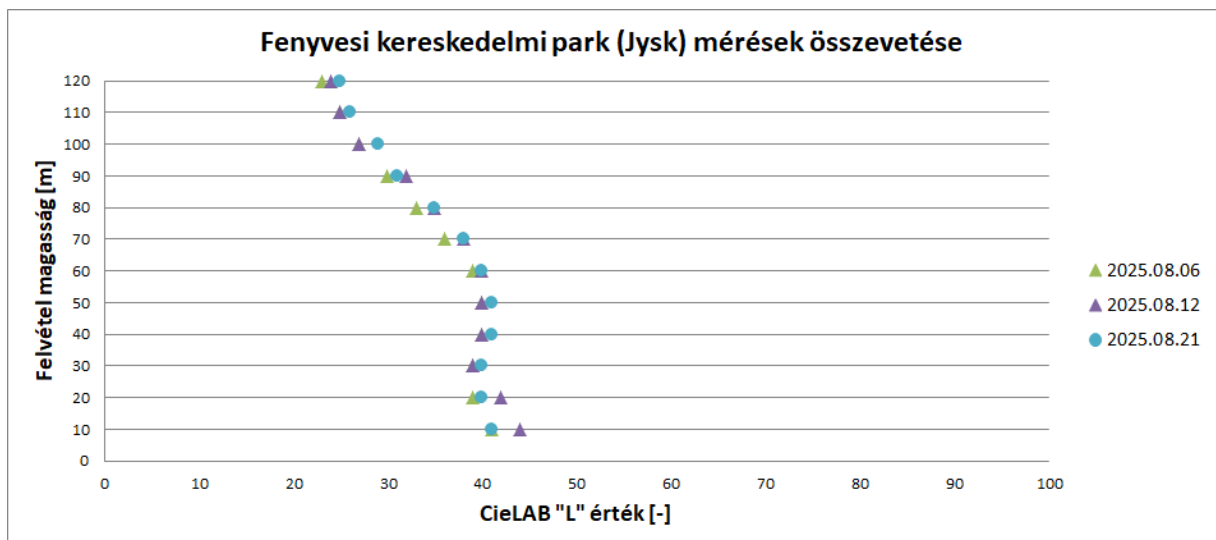
57. ábra Vasútállomás fényszennyezése 120 méteres magasságból
(Forrás: saját kép)

Gödöllő főterén (GPS koordináta: 47°35'58.5"N 19°20'54.9"E) három alkalommal végeztem méréseket, ezeknek a méréseknek az összehasonlítása az 58. ábrán megtekinthető. A három görbe lefutása szinte ugyanaz. 10 métertől végig 120 méterig egy szép egyenletes csökkenő tendencia figyelhető meg. A trendvonal erősen korrelál mind a három mérés esetében, az R^2 értéke 0,9374; 0,9629 és 0,959.



58. ábra Gödöllő főterén végzett mérések összehasonlítása

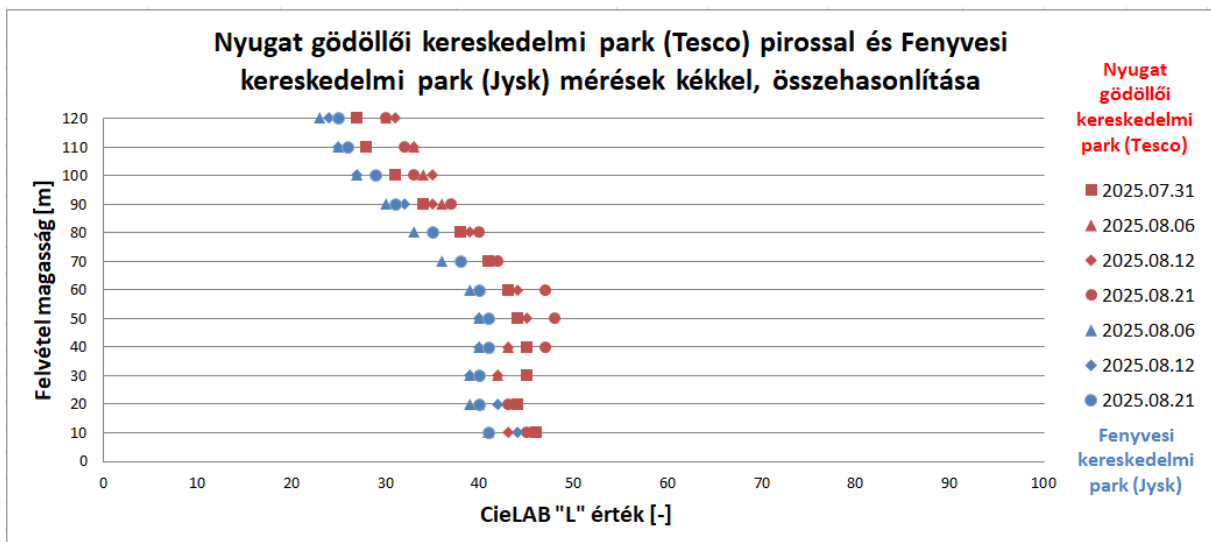
A fenyvesi kereskedelmi parkban (Jysk) (GPS koordináta: 47°35'10.4"N 19°22'24.6"E) három mérés során készítettem légi felvételeket. A mérések eredményeiből készített grafikon az 59. ábrán látható. A három görbe szépen illeszkedik egymáshoz. 10 és 30 méter között enyhe csökkenés látható, 30 méter és 50 méter között enyhe növekedés. 50 méter felett folyamatos csökkenő tendencia figyelhető meg. A trendvonal és a görbe között korreláció figyelhető meg az R^2 értékei a következők, 0,8517; 0,8579 és 0,8225.



59. ábra Fenyvesi kereskedelmi park (Jysk) méréseinek összehasonlítása

4.6. Mérések alapján egymáshoz korreláló területek

A méréseim után, ahogy elkezdtem Excelben feldolgozni az adatokat és azokból pont grafikonokat készíteni, észrevettem, hogy két mérési helyszín adatai és az azokból készített grafikonok nagyon sok hasonlósággal bírnak. Ez a két helyszín a Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) és a fenyvesi kereskedelmi park volt. Ezért készítettem egy olyan grafikonot is, amelyen a két helyszín összes mérése látható. Ez a grafikon az 60. ábrán látható. A grafikonon piros jelölőkkel a Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) értékei, míg kékekkel pedig a fenyvesi kereskedelmi park (Jysk) értékei vannak ábrázolva. Mind a két kereskedelmi park méréseiből készített görbék lefutása ugyanazt a sémát követik. 10 métertől nagyjából 20 méterig csökkenés figyelhető meg. A grafikonon 20 méter és 50 méter között növekedés, majd 50 métertől egészen 120 méterig csökkenő tendencia látható. A különbség a két helyszín között, hogy a Nyugat gödöllői kereskedelmi park (Tesco) egy jóval nagyobb parkolóval és ezáltal jóval több fényforrással rendelkezik. Ez a grafikonon is megfigyelhető a fenyvesi kereskedelmi park (Jysk), kisebb „L” értékekkel rendelkezik, tehát az ott készített képek sötétebbek voltak.



60. ábra A két kereskedelmi park méréseinek összehasonlítása

4.7. Következtetés

A mérések alapján vizuálisan és statisztikai adatokkal is alá lehet támasztani, hogy a fényszennyezés vertikális eloszlása tíz méterenkénti lépcsőkben 120 méter magasságig rendkívül heterogén képet mutat a város eltérő pontjain. A Gödöllő városán belül, kilenc különféle helyszínen végzett mérésből hét szinte teljesen eltérő grafikont, görbét adott. Két mérési helyszín esetében volt bizonyos mértékben kimutatható korreláció, de még itt is megfigyelhető különbség volt a két terület fényszennyezésének mértéke között. Nehéz egymáshoz hasonlítani a többi helyszínt, mondjuk egy főteret és egy buszpályaudvart, mivel ezek eltérő funkcióval és struktúrával rendelkező területek. Az is leolvasható a grafikonokról, hogy a különböző helyszíneken a legtöbb esetben más és más felvételi magasságban van a maximum érték. A minimum érték jellemzően 120 méter felvételi magasságban figyelhető meg, de itt is van kivétel, például a vasútállomáson történt négy mérésből, mind a négy alkalommal 10 méter magasságban található a minimum érték. Van olyan helyszín, ahol az L érték maximuma és minimuma közötti eltérés csak 6 egység a 120 méteren, ilyen helyszín a vasútállomás, de a főtéren történt méréseknél is csak 12 egység eltérés figyelhető meg. És ezzel ellentétben vannak olyan helyszínek, mint például az egyetemi szökőkút, ahol jelentősen nagyobb a variabilitás, itt a minimum és maximum értékek között 25-50 egység eltérés is lehet. A fenyvesi kereskedelmi parknál is hasonló tendencia figyelhető meg, ahol a két szélsőérték között 20 egység eltérés van. Az egy-egy helyszínen történt többszöri mérések a legtöbb esetben elég hasonló, szinte mondhatni ugyanazt a görbét adják, de itt is vannak kivételek. A buszpályaudvaron végzett öt mérésből például három mérés eredményei teljesen megegyeznek, a negyedik mérés eredményei egy jóval magasabb fényszennyezést írnak le, az ötödik mérés pedig, semmilyen korrelációba nincsen a többi méréssel. Azonban az is megállapítható a vizsgálatok alapján, hogy a hasonló rendeltetésű helyszínek, például a nyugat gödöllői kereskedelmi parkban lévő parkoló és a fenyvesi kereskedelmi park parkolója erős korrelációt mutatnak egymással.

4.8. Fényszennyezés megállapítása

A fényszennyezés megállapítása, nem egyszerű, mivel ahogy azt a következtetésben is írtam elképesztően eltérő lehet, akár egyazon vizsgálati helyszínen belül is. Amennyiben a fényszennyezést olyan magassági tartományban szeretnénk értelmezni, amelyen mi emberek élünk, létezünk, vagyis a legtöbb esetben a 0 és 10 méter közötti tartományt, emeletes épületek esetén 10 és 30 méter között, az nem feltétlenül fogja tükrözni a többi élőlény által érzékelt fény mennyiséget. A vonuló madarak, illetve a rovarok például eltérő magassági szinten-szinteken mozoghatnak, így viszont eltérő fényszennyezésnek is vannak kitéve. Az is jelentősen eltérő lehet, hogy az egyes élőlényekre mennyi az a fényterhelés, amely káros hatással van, például egy madárra már valószínű, hogy jóval kevesebb fény mennyiség is káros lehet, mint ránk nézve. Trendszerű a vertikális irányú építkezés világszerte, így hazánkban érzékelhető ez a folyamat (MOL torony, Nagyváradi téri Elméleti Tömb), így azt is figyelembe kell majd venni, hogy milyen magasságokban, milyen fényszennyezésnek vagyunk kitéve, főleg ipari és lakó területeken. Ezzel is szükséges majd a későbbiekben foglalkozni, mert láthatóan nem elhanyagolhatóak az eltérések. Erre nagy jó példa mondjuk a buszpályaudvaron mért értékek, ahol 40-50-60 méter körül jóval nagyobb volt a fény mennyiség, mint 10-20-30 méter felvételi magasságban. A kereskedelmi parkok esetében is megállapítható volt, hogy 50 méter magasságban nagyobb a fényterhelés, mint az alacsonyabb szinteken. A fényszennyezés mérésére, annak pontos mennyiségi jellemzésére és a lehetséges határértékek megállapításához elengedhetetlen egy egységes mértékegység. A gyakorlatban ezek legtöbbször lumenben kerülnek megadásra, de mivel láthatóan, ugyanazoknak a helyszíneknek már napokkal később is más a fényértéke, ezért is nem ezzel foglalkoztam. A mérések technikai konzisztenciáját, viszont az biztosította, hogy a drón beállításai, minden mérés során ugyanazok voltak, így az eltérések ténylegesen a környezeti viszonyoktól függtek.

5. Következtetések és javaslatok

A Gödöllőn végzett mérések alapján megállapítható, hogy több mérési helyszín is kissé túlvilágított. Különösen igaz ez a kereskedelmi parkokra, a buszpályaudvara, a Művelődési házra, és az egyetemi szökőkút környezetére. A két kereskedelmi parkban lévő parkolónál elképesztően magas értékeket mértem, és nem csak az alacsonyabb szinteknél igaz ez, hanem a magasabb 80-100-120 méteres magasságokra is. Az általam készített felvételeken is jól látható, hogy a területek megvilágítása nincs arányban a tényleges használattal, a megfigyelési időszak alatt csupán néhány gépjármű vagy személy tartózkodott csak a parkolóban. Mondhatni, ez a jelenség, jelentős energiafelhasználást eredményez, amely elkerülhető, pazarlásnak tekinthető. A Művelődési ház esetében a megvilágítás szintje mérsékeltebb volt, mint az előbb említett parkolóké, viszont itt is alacsony volt az emberi jelenlét a mérések során. A kereskedelmi parkokban és a Művelődési háznál is mindig zárás után végeztünk méréseket, ezért nem volt elvárható a járművek jelenléte. Javasolt a mozgásérzékelős fényforrások alkalmazása, nem csak ezen a területen, hanem más mért helyszíneken is, ezzel elég komoly energia mennyiséget lehetne megtakarítani. Nem mellesleg a Művelődési ház melletti park ökológiai szempontból is érzékeny terület lehet. Meglepő volt, hogy a két tömegközlekedési pályaudvar, a buszpályaudvar és a vasútállomás fényszennyezése, megvilágítása nem hasonlít egymásra. A buszpályaudvar megvilágítása lényegesen erősebb volt. A vasútállomáson mért értékek viszonylag állandónak mondhatóak, főleg 40 és 120 méter között, itt alig mutat bármiféle változást, így egy jóval egyenletesebb fényeloszlásra utal. Az egyetemi szökőkútnál öt mérésből négy már a felújított szökőkútnál történt, amikor már több, korszerűbb fényforrás van jelen a területen. Ez a grafikonon 40 és 90 méter között figyelhető meg, itt nagyjából 2 szerese lett a fényszennyezés a korábbi állapotokhoz képest. Az új fényforrások között, olyanok lámpatestek is találhatóak, melyek kizárólag felfelé, az égboltot világítják, ezek a szökőkút vízugarai között kerültek elhelyezésre. De nem az egyetemi szökőkút volt az egyetlen mérési helyszín, ahol ilyen fényforrásokkal volt kivilágítva a terület. A vasútállomáson is voltak telepítve ilyen fényforrások, melyek csak az égbolt felé világítanak, ezeknek a lámpáknak a fényei nem világítanak meg semmilyen funkcionális, hasznos vagy biztonsági szempontból fontos területet, emellett pedig csak energiapazarlás. Az egyetem főbejárata volt a legkevésbé kivilágítva az összes mérési helyszíneim közül, itt nagyon kedvező értékeket mértünk, a legtöbb mérésnél már 40 méter felett nem igazán volt kimutatható fényszennyezés. Gödöllő főterén három különálló mérés történt, és az ezekből készített görbék egymással jó korrelációt mutattak.

6. Összefoglalás

A mesterséges fényforrások éjszakai kibocsátása napjaink egyik egyre súlyosbodó környezeti problémájává vált, amely a városi ökoszisztémák működésére és a biológiai sokféleségre is jelentős hatást gyakorol. A fényszennyezés főként városokban, településeken jelentkezik, ezért az emberiség nagy részére, hanem az egészére negatív hatással van, ezáltal a globális problémák közé sorolható. A fényszennyezés, vagyis a mesterséges fények túlzott és nem megfelelő használata, a természetes fényviszonyokat modifikálva zavarja az élőlények viselkedéseit, biológiai folyamataikat és az élőhelyeik integritását, továbbá a humán élettani hatása sem kedvező: cirkadián ritmus megváltoztatása, mentális problémák, álmatlanság és további betegségek. Ahhoz hogy minél jobban megismerjük ezeket a hatásokat, interdiszciplináris elemzésekre és kutatásokra van szükség. Az intenzív urbanizáció és iparosodás következtében a jelenség egyre kiterjedtebbé válik, így a vizsgálata és mérséklése elengedhetetlen a környezetgazdálkodás céljából. A diplomamunkám célja az volt, hogy Gödöllő városát, mint magyarországi agglomerációs települést vizsgáljam, fényszennyezés tekintetében, légi mérések alkalmazásával. A kutatás célkitűzése a lokális fényintenzitás-változások térbeli jellemzése, valamint az eltérő területhasználatok fényterhelési különbségeinek feltárása volt. A szakirodalmi kutatásomban nem a fény fizikai tulajdonságaira fektettem a hangsúlyt, mivel azt már a korábban készített BSc szakdolgozatomban összefoglaltam, azon egyetemi éveim alatt is fényszennyezéssel foglalkoztam. Helyette inkább az újabb típusú fényszennyezések, a fényszennyezés megelőzésére alkalmazott technológiák és a digitális képalkotás került előtérbe, ezek alapján kutattam releváns hazai és külföldi cikkeket. A méréseim Gödöllő város központi és peremterületein zajlottak, ahol a fényintenzitás szintjét légi felvételek készítésével igyekeztem meghatározni. Ezekhez a mérésekhez egy DJI típusú drón került alkalmazásra, amelynek az összes vizsgálat során ugyanazok a beállítási értékek voltak megadva. A drón RGB színtérben rögzített nagy felbontású fotókat. Az adatgyűjtés több különböző helyszínen történt, köztük az egyetem főbejáratának és szökő kútjának a környéke, a buszpályaudvar, ipari zónák. A drón által rögzített légi felvételeket digitális képfeldolgozási módszerekkel (RGB és CIE Lab színtér-elemzés) került kiértékelésre. A színtérkonverzió segítségével lehetővé vált az eltérő megvilágítási szintek kvantitatív összehasonlítása. A nyers képek utófeldolgozásához az Adobe Photoshop 2025 programot alkalmaztam, illetve a numerikus és statisztikai elemzést pedig a Microsoft Excel nevű programban végeztem. Az eredmények azt mutatták, hogy Gödöllő területén belül jelentős

különbségek tapasztalhatók a fényszennyezettség mértékében, ráadásul a 10 méterenkénti lépcsős mérések magasság/CIE Lab „L” értékének koordináta rendszerében a görbék lefutása is jelentős különbséget mutatott. Több esetben az volt megfigyelhető, hogy a magasság növekedésével a fény mennyiség is növekszik nagyjából 50-60 méter magasságig, az felett pedig csökkenő tendenciát mutat. Azonban az azonos típusú és kihasználtságú helyszínek között erős korreláció mutatkozott a mérésekor, ami megerősíti a módszertani megközelítés megbízhatóságát. Az eredmények pedig alátámasztották, hogy az épített környezet geometriája, az alkalmazott épület anyagok, illetve a világítástechnikai megoldások mind meghatározó tényezők a lokális fényszennyezés mértékében. A mérések ezen kívül rámutattak arra is, hogy a fényszennyezés térbeli kiterjedése meghaladja a közvetlen fényforrások hatókörét. Abban, hogy a fényforrások által kibocsátott fények milyen távolságba jutnak el, komoly szerepet játszik a légköri aeroszolokon történő Rayleigh-szóródás, ez a természetes éjszakai sötétség visszaszorulásához vezet. Az elemzések alapján megállapítható, hogy a fényterhelés nem csak horizontális irányban jelentős, hanem vertikális irányban is, ami a városi égbolt fényszennyezettségének növekedését eredményezi. A Gödöllőn végzett kutatás igazolta, hogy a modern drónos képalkotási eljárások alkalmasak a fényterhelés térbeli eloszlásának gyors és költséghatékony feltérképezésére. A kutatás tapasztalatai alapján javasolt az irányított, árnyékolt fényforrások előnyben részesítése, a felesleges díszkivilágítások korlátozása és a magas fényvisszaverő felületek csökkentése. A vizsgálat hozzájárulhat a hazai fényszennyezés-monitoring fejlesztéséhez, és alapot teremthet egy országos, egységes fénygazdálkodási stratégia kidolgozásához, amely egyaránt szolgálja az ökológiai stabilitást és az energiahatékonysági célokat.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet nyilvánítani mentoromnak, Dr. Barczy Andrásnak a MATE egyetemi munkatársának, a diplomadolgozatom összeállításában, a mérésekben való segítségért, a méréshez szükséges eszközök (drón és tartozékai) biztosításáért és a mérési helyszínek közötti utazásért. Köszönöm a MATE intézményének hogy helyet és lehetőséget adott a diplomadolgozatom elkészítéséhez. Köszönöm a szüleimnek a támogatásukat és segítségüket. Köszönöm a testvéremnek hogy kíségetett, amikor valamiben bizonytalan voltam, vagy tanácsra volt szükségem.

8. Irodalomjegyzék

Könyvek, folyóiratok

1. Alexandra Murariu, Adriana Mihaela Coroiu (2024): Image Classification by light pollution levels, *Procedia Computer Science*, Volume 246, Pages 880-889, ISSN 1877-0509
2. Barentine (2020): Who speaks for the night? The regulation of light pollution into the „rights of nature” legal framework, *International Journal of Sustainable Lighting*, 28
3. Bortle J.E. (2001): „The Bortle Dark-Sky Scale”, Cambridge, MA, USA: Sky & Telescope
4. Christopher C.M. Kyba et al., (2017): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent, Article e1701528
5. David L. Andrews, (2017): Rayleigh Scattering and Raman Effect, Theory, *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition)*, Pages 924-930, ISBN 9780128032244
6. F. Kupprat, F. Hölker, W. Kloas (2020): Can skyglow reduce nocturnal melatonin concentrations in Eurasian perch?, *Environ. Pollut.*, 262, Article 114324
7. David R. Bull, (2014): Chapter 4 - Digital Picture Formats and Representations, *Communicating Pictures*, Academic Press, Pages 99-132, ISBN 9780124059061
8. Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C., Elvidge, C. D., Baugh, K. & Furgoni, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, 2(6), e1600377.
9. Fan H., He S. (2023): „Control Light Pollution by Genetic Algorithms”, *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 35, pp. 233-241
10. Fossum, E.R., Hondongwa, D.B., (2014): A Review of the Pinned Photodiode for CCD and CMOS Image Sensors. *IEEE Journal of the Electron Devices Society* 2, 33-43.
11. G.C. Hays (2003): A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations, *Hydrobiologia*, 503 pp.163-170
12. Hangrui Xu (2025): Urban Light Pollution Risk Assessment Model Based on Analytic Hierarchy Process, *Procedia Computer Science*, Volume 262, Pages 1029-1039, ISSN 1877-0509
13. Héctor Lamphar, Miroslav Kocifaj, Jorge Limón-Romero, Jorge Paredes-Tavares, Safei Diba Chakameh, Michal Mego, Natalia Jorgelina Prado, Yolanda Angélica Baez-López, Emiliano Raúl Diez (2022): Light pollution as a factor in breast and prostate cancer. *Science of The Total Environment*, Volume 806, Part 4, ISSN 0048-9697
14. Hölker et al., (2023): Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies, Article 20220360
15. Julian W.A. (2015): *Lighting: Basic concepts*. 6th, University of Sydney
16. Kalinkat et al. (2021): Assessing long-term effects of artificial light at night on insects: What is missing and how to get there, *Insect Conservation and Diversity*, 14 (2), pp. 260-270
17. Kelly G. Lambert, Randy J. Nelson, Tanja Jovanovic, Magdalena Cerdá, *Brains in the city: Neurobiological effects of urbanization*, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Volume 58, Pages 107-122, ISSN 0149-7634
18. Kibrom A. Abay, Mulubrhan Amare (2018): Night light intensity and women’s body weight: Evidence from Nigeria, *Economics & Human Biology*, Volume 31, Pages 238-248, ISSN 1570-677X
19. Komal Kaushik, Soumya Nair, Arif Ahamad (2022): Studying light pollution as an emerging

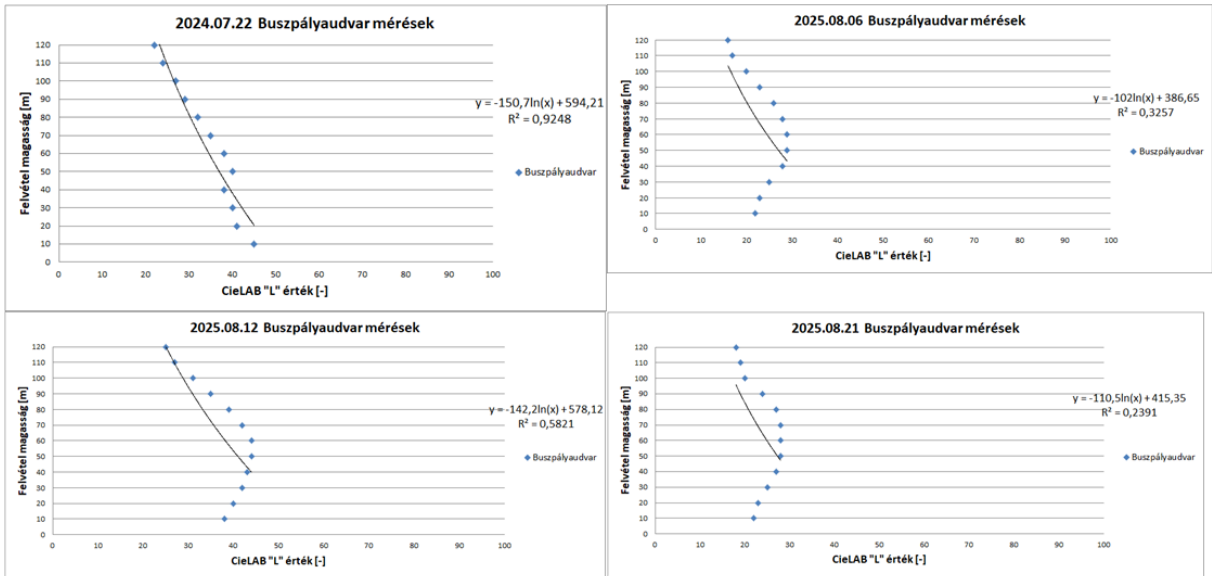
- environmental concern in India. *Journal of Urban Management*, Volume 11, Issue 3, ISSN 2226-5856, Pages 392-405
20. Kroó, Norbert (2006): *A fény fizikája / The Physics of Light*, pp. 349-361. ISBN 963-09-4889-3
 21. L. Wang, et al. (2020): *Spatiotemporal Distribution of Urban air Pollutants and Its Influencing Factors: A Case Study of Beijing, China*, pp. 63-83
 22. Lunn et al. (2017): *Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption*, *Science of The Total Environment*, Volumes 607–608, Pages 1073-1084, ISSN 0048-9697
 23. 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.el.
 24. M. Morgan-Taylor (2023): *Regulating light pollution: more than just the sky night*, *Science* 380, 1118-1120
 25. M. Roberts (2007): *Modernity, mental illness and the crisis of meaning*, *J. Psychiatr. Ment. Health Nurs.* 14, Pages 277-281
 26. Megha Khanduri et al. (2023): *Spatial-temporal expansion and determinants of light pollution in India's riparian habitats*, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 98, 106952, ISSN 0195-9255,
 27. Namgyal et al. (2020): *Dim light at night induced neurodegeneration and ameliorative effect of curcumin*, p. 2093
 28. Peter Wilson (2016): *Chapter 7 - High Speed Video Application*, *Design Recipes for FPGAs (Second Edition)*, Pages 67-77, ISBN 9780080971292
 29. Portree (2002): *Flagstaff's battle for dark skies*
 30. R. Chepesiuk (2009): *Missing the dark: health effects of light pollution*. *Environ. Health Perspect.*, 117. p. 1
 31. Salvador Bará, José J. Castro-Torres (2025): *Diverging evolution of light pollution indicators: Can the globe at night and VIIRS-DNB measurements be reconciled?* Volume 335, 109378, ISSN 0022-4073
 32. Shariff N. N. M., Hamidi Zety, Faid Muhamad Syazwan (2019): *The Risk of Light Pollution on Sustainability*, *ASM Science Journal*, 12(Special Issue 2):134
 33. Sliney D. H. (2016): *What is light? The visible spectrum and beyond*. PMID: PM4763133, PMID: 26768917
 34. Sullivan, G., Ohm, J.-R., Wiegand, T., (2012): *Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard*. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on 22.
 35. Susan Mander, Fakhrul Alam, Ruggiero Lovreglio, Melanie Ooi (2023): *How to measure light pollution—A systematic review of methods and applications*, *Sustainable Cities and Society*, Volume 92, 104465, ISSN 2210-6707,
 36. Tanya Kaur Bedi (2024): *Reducing Light Pollution from Building Glass Facades and Fenestrations*
 37. Tin Fai Kwok, Yuan Xu, Pui Ting Wong (2017): *Complying with voluntary energy conservation agreements (II): Lighting in Hong Kong's shopping malls*, Volume 117, Part B, Pages 225-234, ISSN 0921-3449,

38. Ulrika Candolin (2024): Coping with light pollution in urban environments: Patterns and challenges, iScience, Volume 27, Issue 3, 109244, ISSN 2589-0042
39. Ványi Márk (2022): Isaszeg mint jellemző agglomerációs település fényszennyezettségének nyári időszaki vizsgálata és összehasonlítása további légköri komponensekkel
40. Yesen Liu et al. (2024): Do rivers get sufficient sleep-A global analysis of light pollution in rivers, Volume 211, 107892, ISSN 0921-3449,
41. Yana Yakushina (2025): Light pollution regulations and where to find them, Volume 373, 123757, ISSN 0301-4797

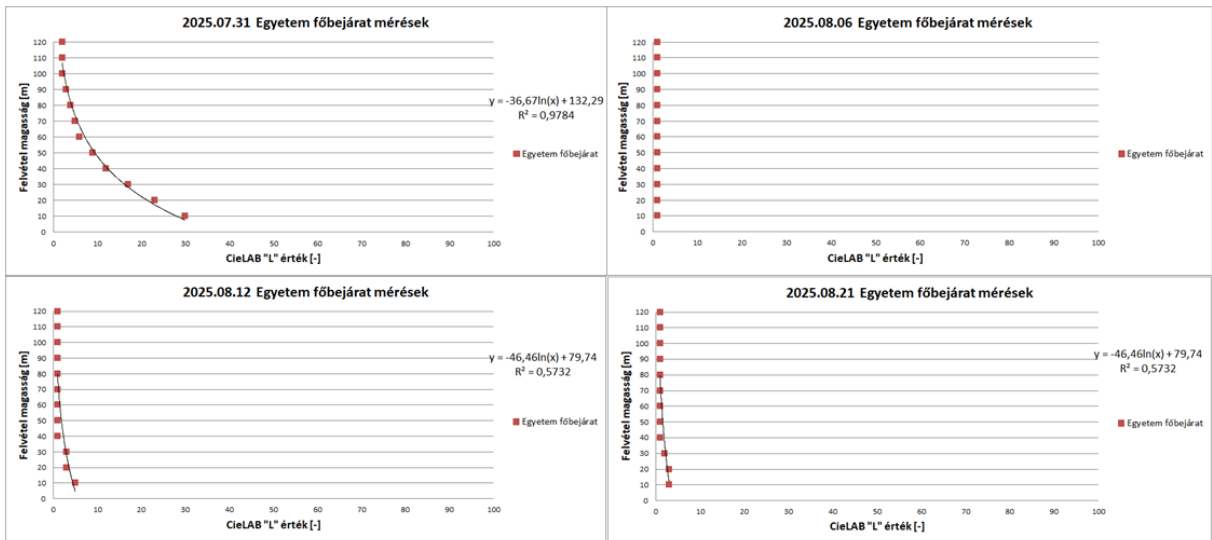
Internetes források

- http 1. https://gnlszinfolt.blog.hu/2020/11/16/a_fenyszennyezés_ártalmasabb_mint_gondoltuk (Letöltve: 2025.06.17)
- http 2. https://mind.ilstu.edu/curriculum/virtual_anthro_lab/bk2ch1.html (Letöltve: 2025.02.15)
- http 3. <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/knowledge-hub/lightandcolor/lightsourcesintro> (Letöltve: 2025.02.27)
- http 4. <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/knowledge-hub/lightandcolor/lightsourcesintro> (Letöltve: 2025.02.28)
- http 5. https://pace.oceansciences.org/prop_of_light.cgi (Letöltve: 2025.03.03)
- http 6. <https://www.timeanddate.com/astronomy/red-sunset.html> (Letöltve: 2025.08.11)
- http 7. <https://lowell.edu/research/areas-of-research/history/> (Letöltve: 2025.05.26)
- http 8. <https://gobigadvertising.com/searchlights/> (Letöltve: 2025.05.27)
- http 9. <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/> (Letöltve: 2025.08.11)
- http 10. <https://www.eliterglass.com/what-is-ultra-clear-glass-how-is-it-different-from-normal-float-glass/> (Letöltve: 2025.08.10)
- http 11. https://www.reddit.com/r/UrbanHell/comments/16wt3ni/light_pollution_in_osaka/ (Letöltve: 2025.06.20)
- http 12. <https://stellardiscovery.com/dark-sky-sites-in-the-uk/> (Letöltve: 2025.08.11)
- http 13. <https://lightpollutionmap.app/?lat=47.181759&lng=19.506094&zoom=8> (Letöltve: 2025.08.11)
- http 14. <https://thevideoproguys.com/8-bits-vs-10-bits-vs-12-bits-footage/> (Letöltve: 2025.09.07)
- http 15. https://pigmenta.hu/vision/pigmenta/uploaded_images/blog/bloglabbra5r3iccg4d5.jpg (Letöltve: 2025.09.07)
- http 16. <https://p1.akcdn.net/full/801463425.dji-air-2s-cp-ma-00000359-01.jpg> (Letöltve: 2025.09.11)
- http 17. <https://www.walqadesign.hu/rgb-es-cmyk-szinmod-a-konyhapanelen> (Letöltve: 2025.09.20)

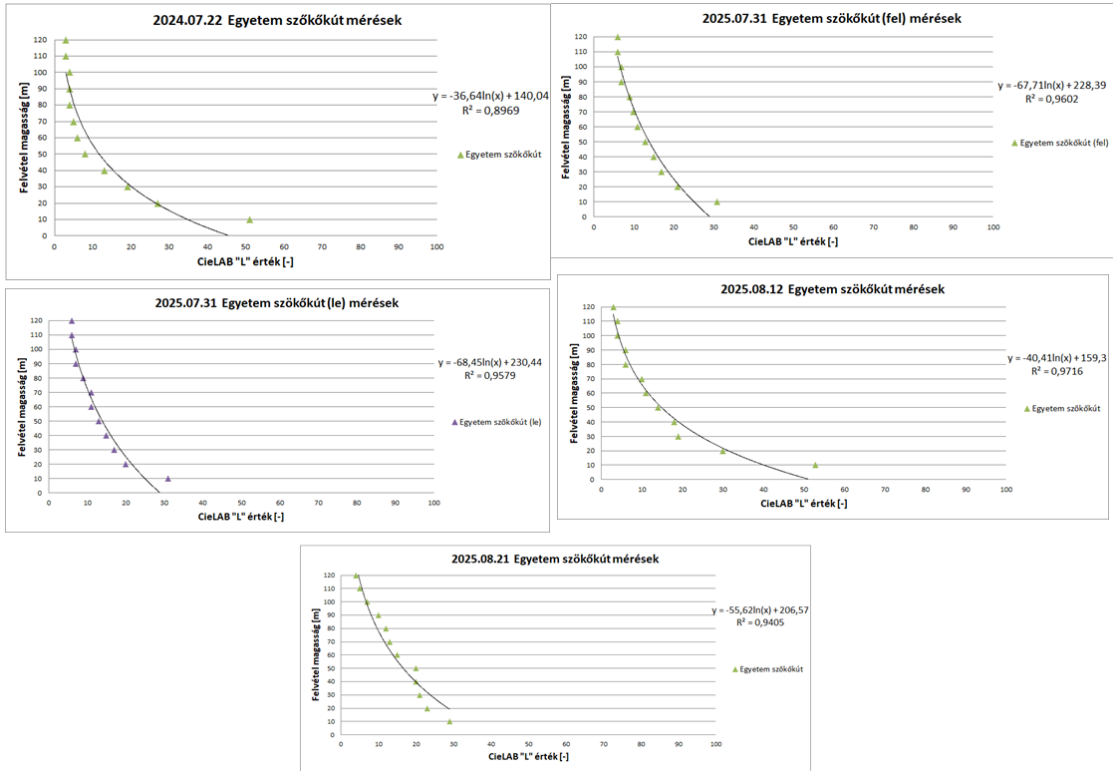
9. Mellékletek



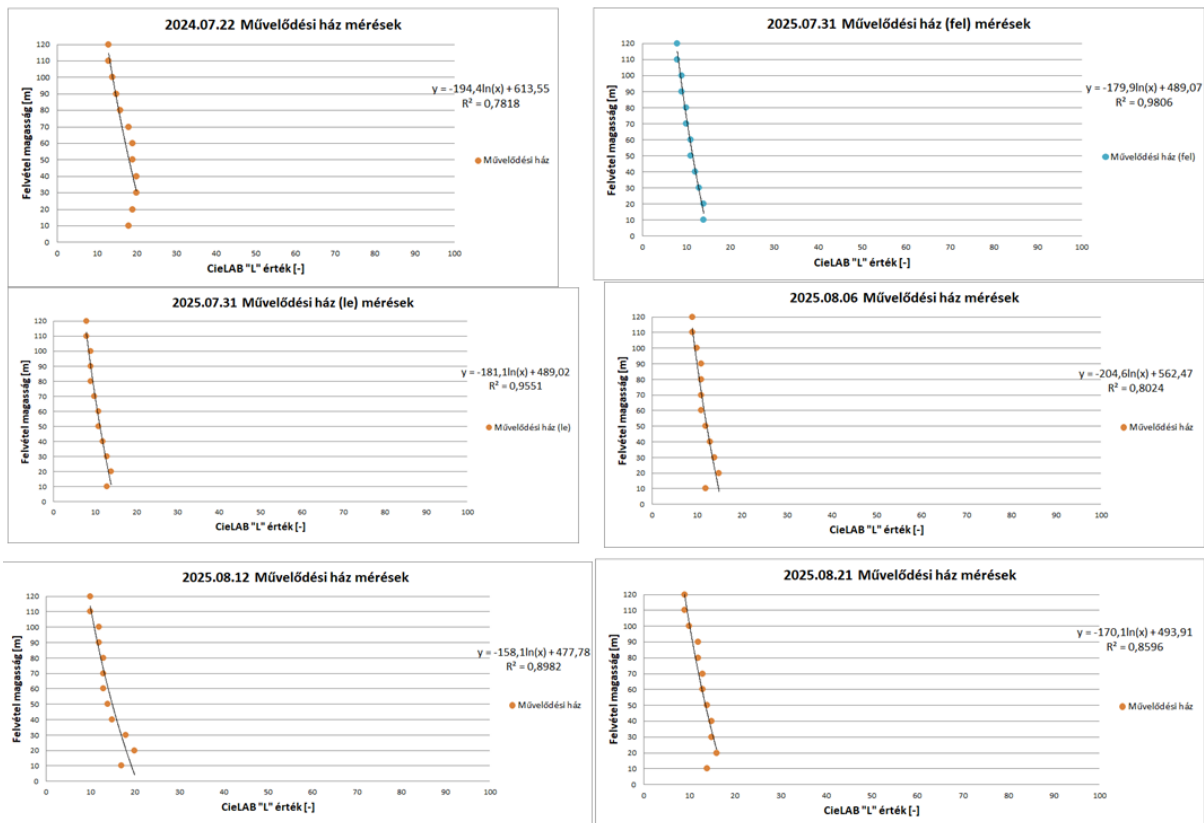
61. ábra A buszpályaudvaron készített többi mérés grafikonja



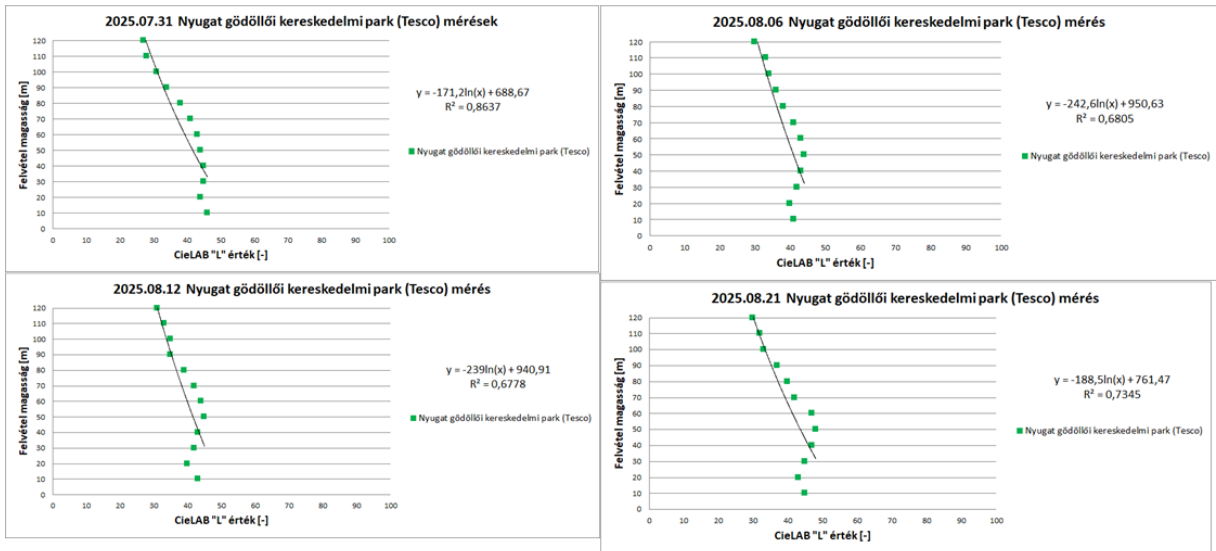
62. ábra Az egyetem főbejratánál készített többi mérés grafikonja



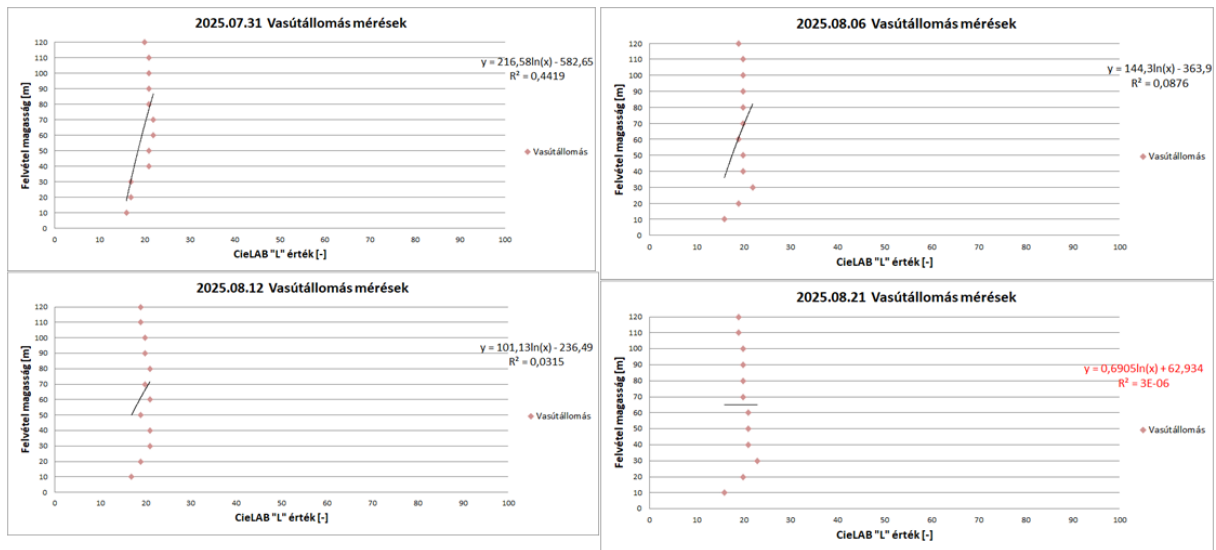
63. ábra Az egyetemi szökőkútnál készített többi mérés grafikonja



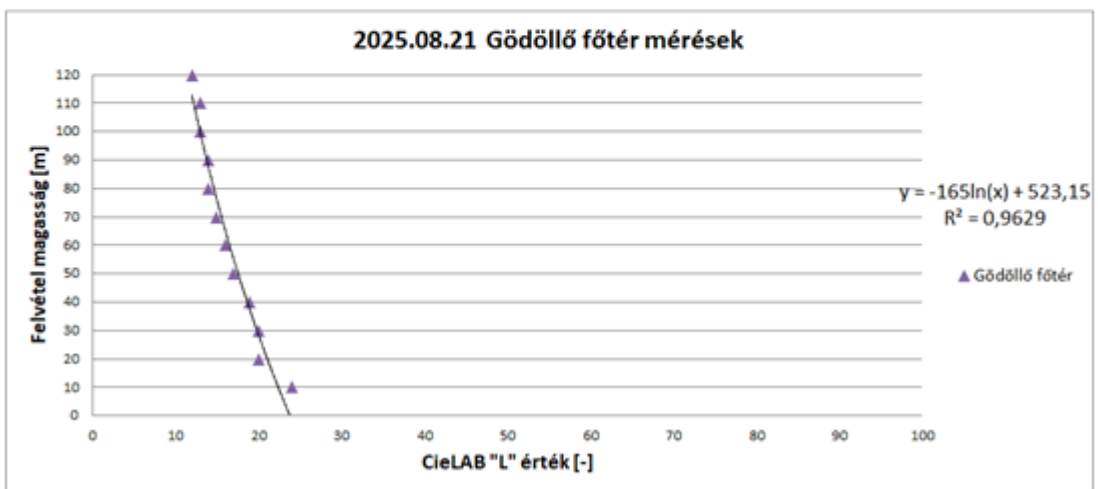
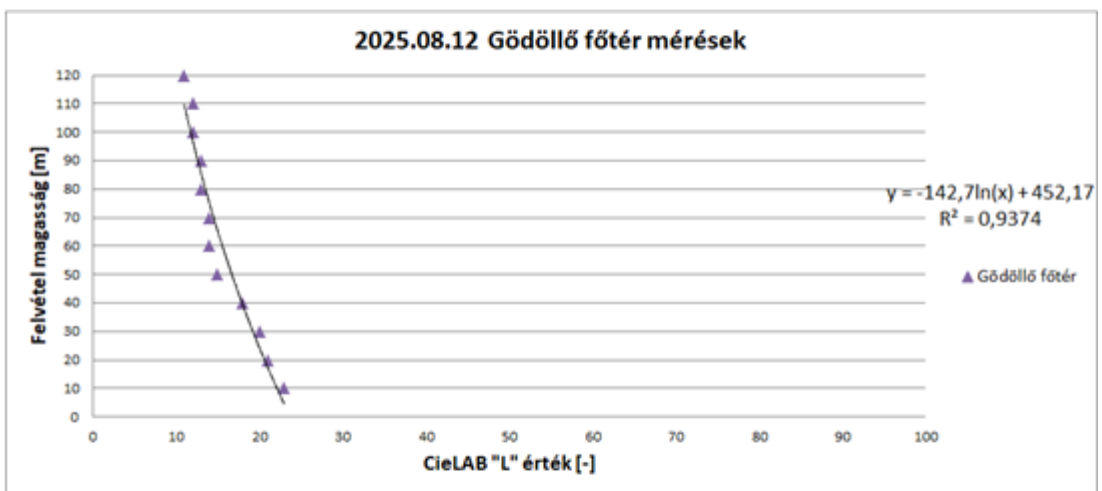
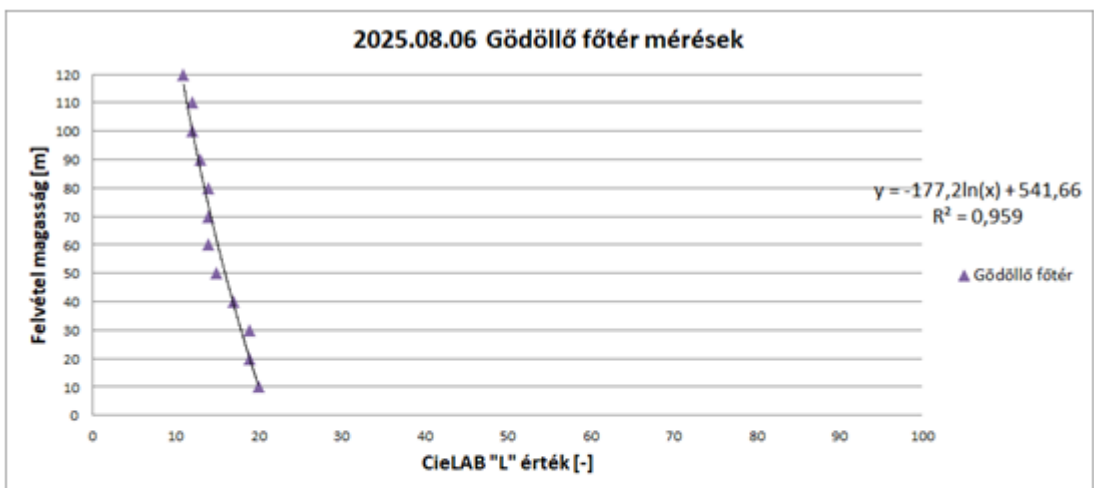
64. ábra A művelődési háznál készített többi mérés grafikonja



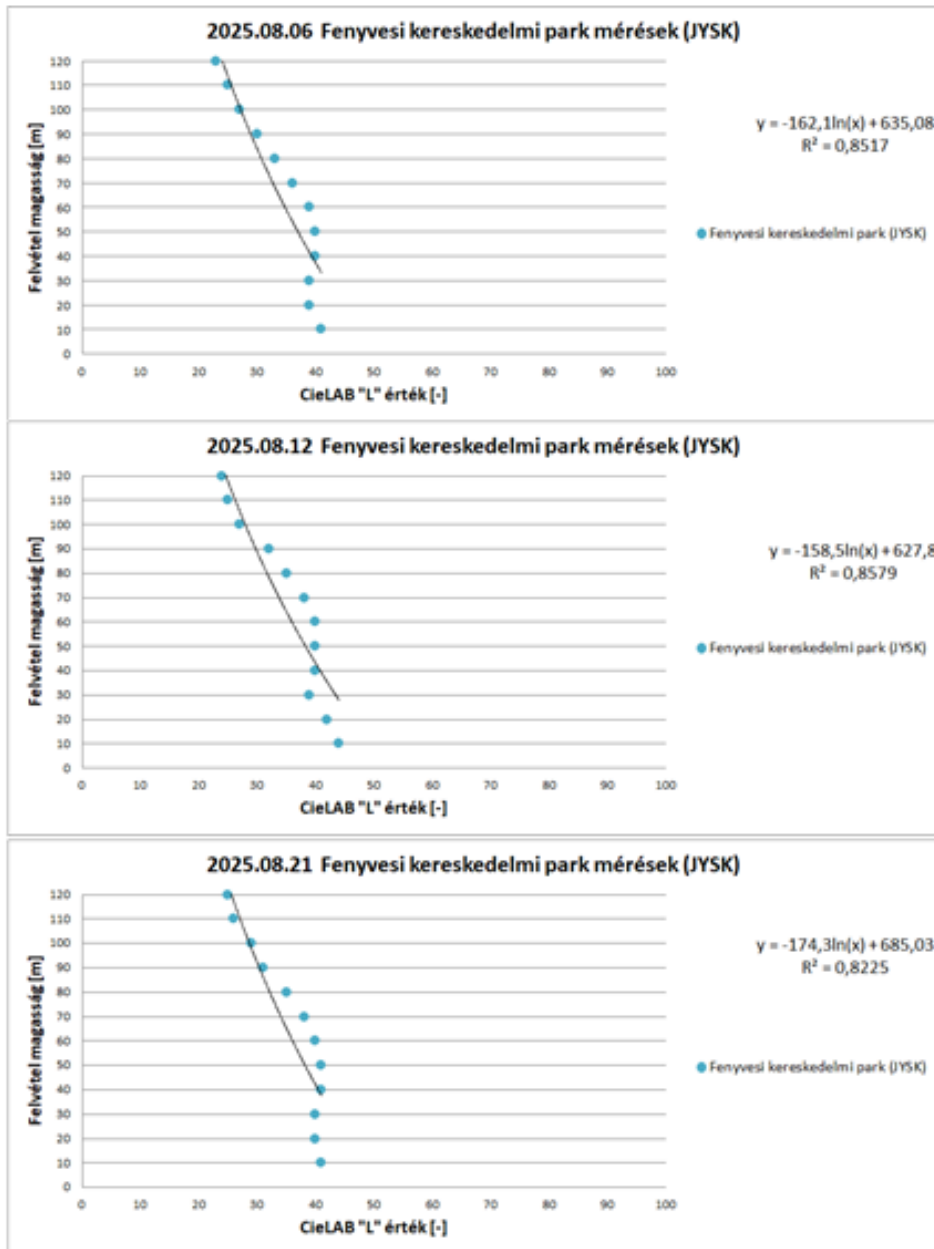
65. ábra A Nyugat gödöllői kereskedelmi parkban (Tesco) készített többi mérés grafikonja



66. ábra A vasútállomáson készített többi mérés grafikonja



67. ábra Gödöllő főterén készített mérések grafikonjai



68. ábra A fenyvesi kereskedelmi parkban (Jysk) készített mérések grafikonjai

10. Nyilatkozat

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a ~~záródolgozat/szakdolgozat~~/diplomadolgozat/~~portfólió~~¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve:

Ványi Márk Mária

A Hallgató Neptun kódja: ISVU 75 Magyarországi agglomerációs település nyári

A dolgozat címe: Időszaki fényszennyezés mérése és vizsgálata, Légi

A megjelenés éve: 2025 mérésekkel.

A konzulens intézetének neve: Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Agrárgazdaságtani és Agrárpolitikai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott ~~záródolgozat/szakdolgozat~~/diplomadolgozat/~~portfólió~~² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant 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 mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri 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 repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025 év 10 hó 28 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

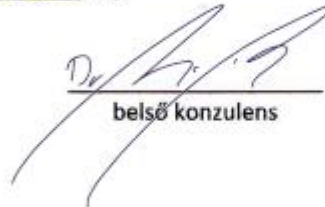
NYILATKOZAT

Ványi Márk Mária (név) (hallgató Neptun azonosítója: ISYU 75)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ 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 javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2025 év 10 hó 28 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.