

# Képi felbontású fénysűrűség- és megvilágításmérés

## 1. Bevezetés

A fotometria két nagyon fontos és a világitástechnikában talán a leggyakrabban használt alapmennyisége a **fénysűrűség** [1] és a **megvilágítás** [2].

A **fénysűrűség** fogalma szavakkal megfogalmazva infinitezimálisan kicsiny területű ( $dA$ ) felületről infinitezimálisan kicsiny térszögbe ( $d\omega$ ) távozó (infinitezimálisan kicsiny) fénysugárnyalant jelent ( $d\Phi_v$ ); elosztva a távozási irány vektora és a felület normálvektora által bezárt síkszög ( $\alpha$ ) koszinuszával.

Mértékegysége  $\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ , fotometriai jele és képlete:

$$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{dA \cdot d\omega \cdot \cos(\alpha)}$$

A megvilágítás fogalma ennél kicsivel egyszerűbb: infinitezimálisan kicsiny területű ( $dA$ ) felületre  $\alpha$  szögben beeső (infinitezimálisan kicsiny) fénysugárnyalant ( $d\Phi_v$ ) hányadosa. Mértékegysége lx, fotometriai jele és képlete:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \cdot \cos(\alpha)$$

Ezen két mennyiség mérésére a metrológia szakemberi már régen kidolgoztak mérőeszközöket ill. eljárásokat.

Megvilágítás mérésére viszonylag egyszerűen állíthatunk össze műszert. Nem

kell hozzá más, csak megfelelő detektor (az elmúlt időkben leggyakrabban szilícium fényelem), amelynek színképi érzékenységet a láthatósági függvény ( $V(\lambda)$ ) szerint illesztjük megfelelő szűrőcsomaggal. Valamint a szűrőcsomag elé kell helyeznünk egy megfelelő diffúzort, mely a detektor szögérzékenységét korrigálja, ezt röviden „koszinusz korrekciónak” hívják [3]. Kell még továbbá olyan erősítő (fotoárammérő), amely a detektor által generált jelet „használható” elektronikus jellé alakítja, és kell egy olyan standard, aminek alapján meghatározhatjuk, hogy a mi mérőeszközünk által adott elektronikus jel a valóságban hány lux megvilágításnak felel meg.

Fénysűrűség mérésénél az eljárás hasonló, csak ekkor általában szükségünk van egy leképező optikára is, hiszen tudunk kell, hogy a „megtévezett”, azaz mérni kívánt terület és a detektor felülete mekkora térszöget határoz meg. Ha ezt ismerjük, akkor megfelelő standarddal történő kalibráció után a műszerrel a detektor felszínére eső fénysugárnyalant alapján fénysűrűséget mérhetünk [4].

## 2. Képi felbontású eszközök

A régebbi fotometriai mérőműszerekkel nehezen voltak kivitelezhetőek olyan mérések, amikor nagyobb kiterjedésű tárgyakon sok-sok pontban kellett meghatározni valamely fotometriai mennyiséget. Ebből a szempontból óriási áttörést jelentett a képi felbontású, optikai sugárzás detektálására alkalmas eszközök kifejlesztése. Fénysűrűség mérésénél az ilyen eszközökre vonat-

kozó mérési elv pontosan ugyanaz, mint a hagyományos fénysűrűségmérőknél, a különbség lényegében pusztán az, hogy egyetlen detektor helyett a vizsgálandó objektum képe egy sok ezer parányi fotodiódát vagy MOS-kaput tartalmazó tömbre vetül. Az érzékelőtömbben összegyűlt töltéscsomagocskák azután egyenként kiolvashatók és megfelelő eszközkalibráció nyomán fotometriai adatokként értelmezhetőek [5].

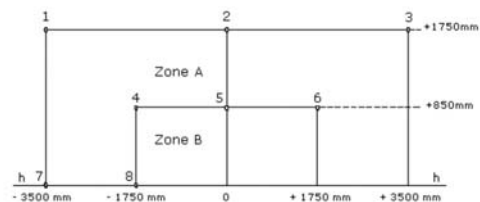
### 3. Esettanulmány

A képi felbontású eszközökkel megvalósítható fénysűrűség- és esetlegesen megvilágításmérés lehetőségeire vonatkozó általános és konkrétumokat nem tartalmazó eszme-futtatás helyett célszerűbbnek láttuk, hogy méréseinket valós feladat megoldását bemutató esettanulmányon keresztül mutassuk be.

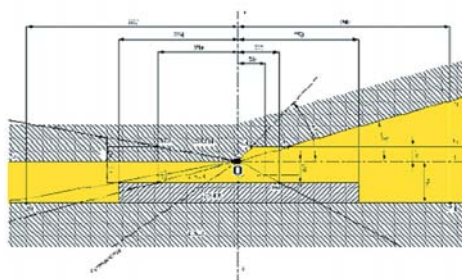
#### 3.1 Feladat

A mérési feladat a következő volt: vizsgáljuk meg, hogy adott autófényszórónál tompított világítás esetén mekkora megvilágítás mérhető a fényszórótól 25 m távolságra felállított ernyőn az 1. ábrán látható pontokban. A fényszóró kívánt fényeloszlás-profilját a 2. ábra szemlélteti [6].

Ez a mérési feladat hagyományos fotometriai mérőeszközökkel is kivitelezhető, ám mint látni fogjuk, képi felbontású eszközzel sokkal kevesebb fáradságot igényel.



1. ábra. Mérési pontok a fényszórótól 25 m-re elhelyezkedő ernyőn. (A megbízó ábrája)



2. ábra. A fényszóró kívánt fényeloszlás-profilja. (A megbízó ábrája)

#### 3.2 Kamera

A fent leírt mérési feladat elvégzéséhez a Prometric PM-1451-0 típusú CCD-kamerát használtuk (3. ábra). A gyártó a termikus zaj hatását csökkentendő a kamerát két Peltier-hűtővel látta el.

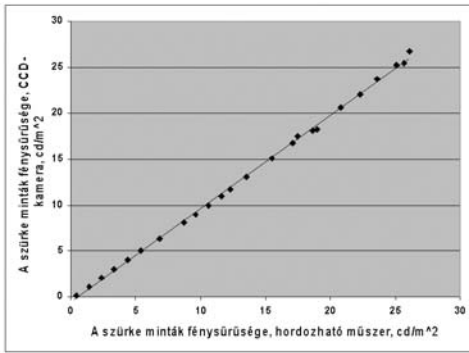
Képi felbontású fotometriai mérések végzéséhez meg kellett győződnünk a kamera tömbjének linearitásáról, homogenitásáról, ill. fel kellett derítenünk, hogy esetlegesen vannak-e a tömbön pixelhibák.



3. ábra. A Prometric PM-1451-0 típusú CCD-kamera

#### 3.3 Linearitás

A kamera tömbje linearitásának vizsgálatához 24 mezőből álló szűrkeskálát készítettünk. Első esetben a skálát katódsugárcsőves monitoron jelenítettük meg, majd a képről felvételt készítettünk a kamerával. Ezek után hagyományos fénysűrűségmérővel lemértük az összes mező fénysűrű-

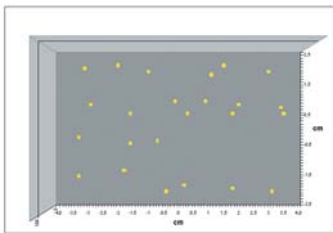


4. ábra. A CCD-kamera linearitásvizsgálatának eredménye

rúségét. A második esetben a skálát kinyomtattuk, a nyomatot a falra rögzítettük, majd ugyanúgy jártunk el, mint az első esetben. Az eredmény a 4. ábrán látható. A kamera által szolgáltatott kép relatív fénysűrűségértékei és a hagyományos készülékkel mért fénysűrűségek közötti korreláció 99,95 %. Így a kamera működése lineárisnak tekinthető.

### 3.4 Homogenitás

A kamera tömbje homogenitásának vizsgálatához fotométergömböt használtunk. A gömb átmérője 0,5 m volt, a kör alakú kilépőnyílás átmérője pedig 1 cm. Ehhez a segédeszközhöz azért folyamodtunk, mert joggal feltételezhettük, hogy a kis kilépőnyílás által képviselt felületemen homogén fénysűrűségeloszlás tapasztalható.



5. ábra. A fotométergömb kilépőnyílásának 24, véletlenszerűen beállított pozíciója

A kamerát a kilépőnyílástól 0,5 m-re helyeztük, azt ebben a síkban véletlenszerűen 24 különböző helyre (5. ábra) mozgattuk jobbra és balra, ill. különböző magasságba, majd minden pozíciónál felvételt készítettünk.

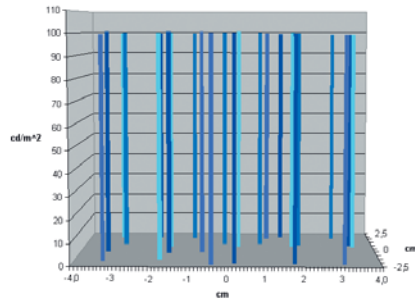
Egy ilyen módon készített felvételt a 6. ábra mutat, míg a 24 különböző pozícióban mért relatív fénysűrűségértékeket a 7. ábra szemlélteti. A 24 fénysűrűségérték relatív szórása csupán 0,54 %-nak adódott. Ennek alapján kijelenthetjük, hogy a CCD-kamera érzékelőtömbje homogén, és alkalmas fotometriai mérésekre.



6. ábra. A fotométergömb kilépőnyílásáról készített felvétel az egyik pozícióban

### 3.5 Pixelhibák

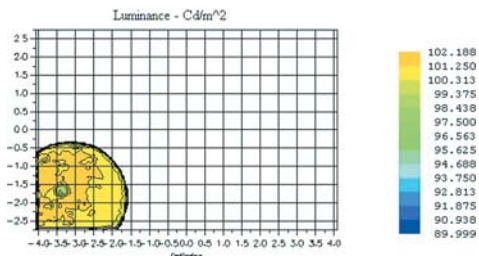
Az előző alfejezetben bemutatott vizsgálat a kamera homogenitását igazolta, ám a kilépőnyílásról készített képekkel nem fedtük le a teljes érzékelőtömböt. Az esetleges pixelhibák felderítésére hasonló vizsgálá-



7. ábra. A 24 véletlenszerűen pozícionált kilépőnyílás-kép relatív fénysűrűségértéke

tot végeztünk, csak most a fotométergömb kilépőnyílásának átmérőjét 3 cm-re állítottuk, és arra törekedtünk, hogy ezzel a felületelemmel a felvételek során a teljes érzékelőtömböt lefedjük.

Törekvésünk két olyan területet tárt föl, ahol - valószínűleg gyártási hibából vagy később, a készülékbe került szennyeződés miatt - pixelhibát észleltünk. Egyik esetet a 8. ábra szemlélteti.



**8. ábra. Rendellenes tömbterület detektálása. A kérdéses területet a fotométergömb kilépőnyílása képének szintvonalas ábrázolásánál az eltérő színű terület mutatja**

Az ilyen jellegű pixelhibák vagy rendellenes területek nagyon bosszantóak, ám szerencsére szoftveresen megfelelő maszk készítésével korrigálhatók.

### 3.6 Hőmérsékletfüggés

A kamera bevizsgálásánál arra is kitértünk, hogy képfelvételkor milyen hatással számolhatunk az érzékelőtömb különböző mértékű hűtésénél. Teljes sötétségben 10 másodperces expozíciós idővel készítettünk felvételt +10 °C-ra ill. (10 °C-ra lehűtött érzékelőtömbbel). A termikus hatásokból eredő zaj nagyságának különbsége kimutatható volt ugyan a két eset között, de mértéke a később elvégzett fotometria mérések szempontjából teljesen elhanyagolható volt. Ez a most elhanyagolhatónak titulált különbség olyankor juthat fontosabb szerephez, ha a kamerát pl. csillagászati észlelésekhez kívánjuk használni, és percekig vagy akár órákig exponálunk.



**9. ábra. Az egyetem tornatermében a mérési feladathoz felállított vászon**

### 3.7 Kísérlet a tornacsarnokban

A megrendelőnk által előírt mérések kivitelezését állandó és zárt környezetben kívántuk elvégezni. Ehhez a Pannon Egyetem Testnevelési Tanszékétől kaptunk segítséget, így vizsgálatainkat az egyetem tornatermében végezhetjük el.

Kiállításokhoz használt paravánlábakból építettük fel azt a vázát, amelyre megfelelő méretű fehér lepedővásznat függesztettünk. Az előírt 25 m-es ernyőtávolságot másképpen nem tudtuk biztosítani. A mérésnél természetesen figyeltünk arra, hogy a mérési pontok ne a paravánlábak szilulettjére essenek. A tornateremben felállított ernyőt a 9. ábra mutatja.

### 3.8 Képi felbontású fénysűrűségmérés

A fentebb bemutatott kameravizsgálatok alapján a kamerát alkalmasnak nyilvánítottuk képi felbontású fotometriai mérések elvégzésére. Egy hordozható fénysűrűségmérővel egyszerűen kalibrálhattuk a kamerát. Ez rögzített kamerapozíciónál nem is jelent semmiféle problémát, hiszen lineáris és homogén érzékelőtömbnél az előírt 25 m-es tárgy távolság miatt gyakorlatilag elegendő a vizsgált (lehetőleg sík) felület egyetlen kis területének fénysűrűségéhez igazítani a kamera szoftverének relatív egységeit.

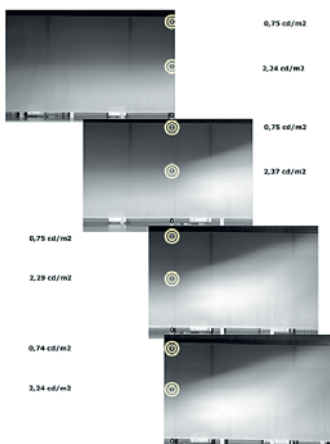
A tornateremben elvégzett méréseink során azonban további nehézségbe ütköztünk, ugyanis az 50 mm fókusztávolságú



**10. ábra.** A teljes ernyőfelületről készített, montált kép a mérési pontokkal

objektívvel felszerelt kamerától 25 m-re felállított ernyőn a fényszóró által produkált képen az összes mérési pont nem fért bele a kamera látómezejébe (lásd 10. ábra). Így meg kellett vizsgálnunk, hogy a teljes mérendő felületről részletekben készített felvételek fotometriailag összeilleszthetők-e, azaz az egyik kép bal szélén ill. a másik kép jobb szélén elhelyezkedő mérési pont fénysűrűségértéke a kalibráció után mindkét képen ugyanannyinak adódik-e.

Ennek a kérdésnek a megválaszolására úgy készítettünk felvételeket, hogy az ernyőtől 25 m-re lévő síkban a kamerát az ernyő szélétől mindig 1 m-rel helyeztük odébb annak érdekében, hogy lehetőleg minden mérési pont legalább két felvételen szerepeljen. A 11. ábrán a 2. és 5. mérési pontot láthatjuk több felvételen.



**11. ábra.** A több képen is szereplő mérési pontokban leolvasható fénysűrűségértékek relatív szórása minden esetben kisebb, mint 2,7%. A felvételek összeilleszthetők

A kiértékelés eredménye szerint a több képen is szereplő mérési pontokban leolvasható fénysűrűségértékek relatív szórása minden esetben kisebb volt, mint 2,7%. Ennek tudatában a részkepeket összeilleszthetőnek tekintettük.

### 3.9 Képi felbontású megvilágításmérés

A 3.1 alfejezetben leírt feladatban nem fénysűrűséget, hanem megvilágítást kellett mérnünk. Minthogy az ernyőként használt lepedővásznon a vizsgálataink szerint szinte tökéletes Lambert-felületnek tekinthető, a megvilágításmérés sem jelentett problémát. A vászon precízen kijelölt kicsiny területének megvilágítását kézi megvilágításmérővel határoztuk meg, és szoftveresen ehhez igazítottuk a kamera által szolgáltatott kép relatív egységeit. A képi felbontású eszközzel történő mérés hatékonysága pontosan itt mutatkozik meg, hiszen az ily módon (egy pontban) történő kalibráció után a kamera szoftverével bármely képpontban leolvashatjuk a vászon megvilágítását.

A vizsgálat eredményét a 12. ábra mutatja. Az Európai Unióban érvényes közlekedési szabvány szerint a 12. ábrán látható mérési pontokban a megvilágításnak 0,1 lx és 20 lx közé kell esnie. A mi vizsgálatunk szerint a 6. és 8. mérési pontban ennél nagyobb megvilágítás volt mérhető.



	Mérési pontok							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Megvilágításértékek (lx)	2,61	3,55	8,80	9,65	11,16	29,33	14,31	26,36

**12. ábra.** A fényszóró által megvilágított ernyőn mérhető megvilágításértékek

#### 4. Konklúzió

A tanulmányban bemutatott mérési eljárás sokkal inkább tekinthető módszertani vizsgálatnak, mint minden igényt kielégítő mérésnek, hiszen a tornaterem falait és padlóját nem festhettük be diffúz fekete festékkal, ill. a lepedőből készített vászon stabilitása is hagy még némi kívánnivalót. Ennek ellenére bebizonyosodott, hogy képi felbontású eszközzel rendkívül kényelmesen és precízen kivitelezhető komplex fotometriai vizsgálatok. Valószínű, hogy a jövőben a képi felbontású fotométerek mind inkább el fognak terjedni.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Schanda János professzor úrnak hasznos tanácsaiért, a Pannon Egyetem Testnevelési Tanszéke munkatársainak önzetlen segítségükért, Marton Ferenc asztalosnak a le-

pedőt tartó lécek méretre vágásáért és HOFEKA Kft-nek azért, hogy a hordozható megvilágításmérőt rendelkezésünkre bocsátotta.

**Dr. Kránicz Balázs, Gasparics Attila**

---

#### HIVATKOZÁSOK

- [1] Magyar szabvány: Fénytechnikai terminológia, MSZ 9620-1, 845-01-35.
- [2] Magyar szabvány: Fénytechnikai terminológia, MSZ 9620-1, 845-01-38.
- [3] DeCusatis, C. J. S.: Fundamentals of Detectors. In: DeCusatis, C: Handbook of Applied Photometry. New York, American Institute of Physics, 1997, Chapter 4.3.2 és 4.3.3, 123-124. p.
- [4] DeCusatis, C. J. S.: Fundamentals of Detectors. In: DeCusatis, C: Handbook of Applied Photometry. New York, American Institute of Physics, 1997, Chapter 4.3.4, 125-126. p.
- [5] Holst, G. C.: CCD Arrays, Cameras and Displays, JCD Publishing, 1996.
- [6] United Nations: Regulation No. 112, Addendum 111, 29 Nov 2001.