LED élettartama, megbízhatósága

Dr. Csuti Péter, Dr. Szabó Ferenc
Pannon Egyetem
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

A VTT és a MEE Világítástechnikai Szakreferens képzése
2019. január 18.

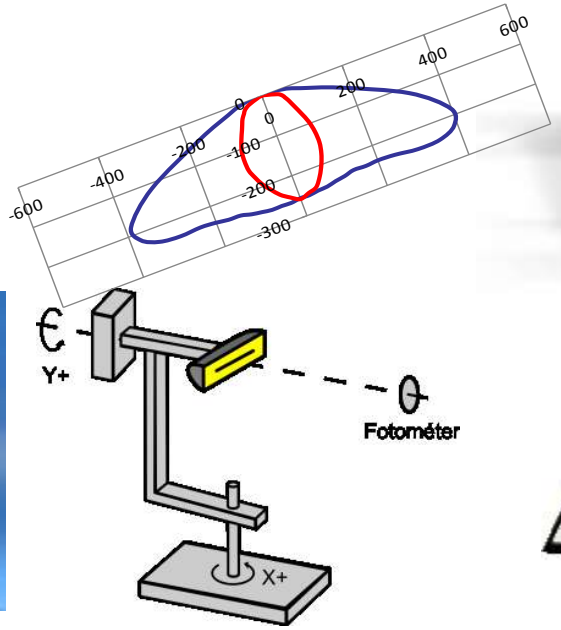
Tartalom

- Fotometria és LED-ek fejlődése
  - Alapvető LED tulajdonságok
  - LED meghibásodások okai
  - Mi az, hogy LED-öregedés?
  - Becsült élettartam (pl. L70) számítása TM-21-11
- Gyakorlati vizsgálatok, megfigyelések
  - LED-cső élettartam valós üzemi körülmények között
  - Közvilágítási világítótestek vizsgálatának kihívásai

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

FÉNY- ÉS SZÍNTAN KUTATÓLABORATÓRIUM



Dr. Schanda János
(1932–2015)

Színtan
Kutatólaboratórium

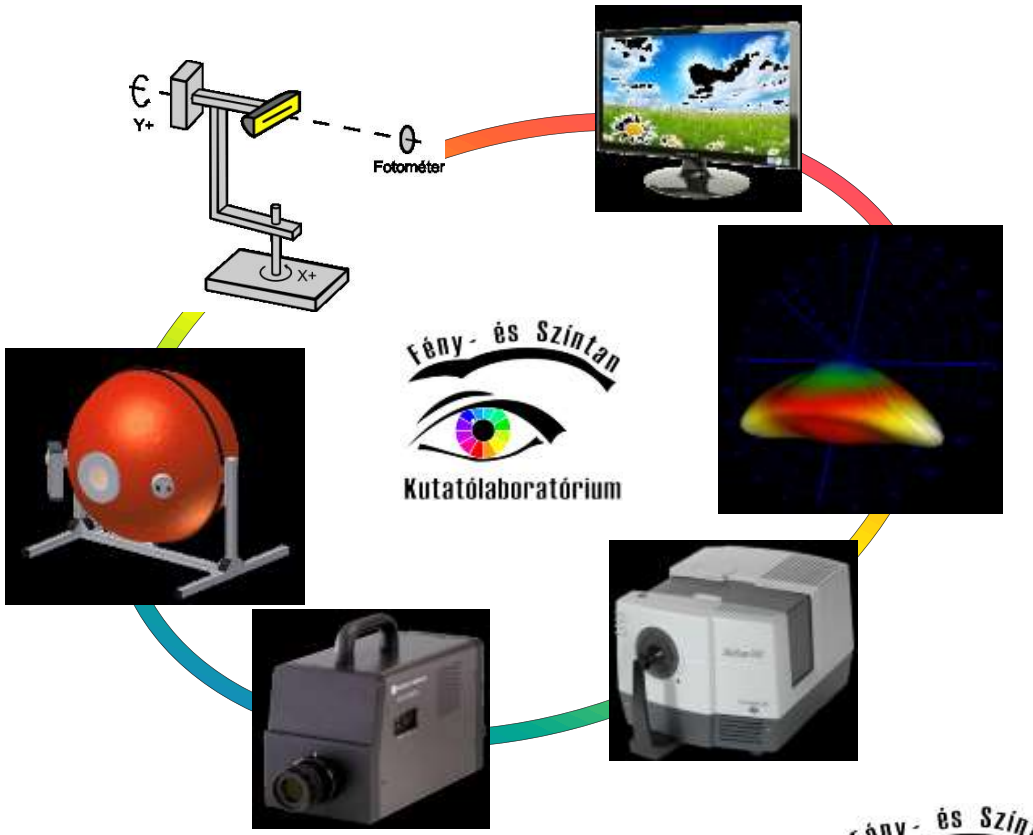
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Pannon Egyetem – Műszaki Informatikai Kar

Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék
Veszprém, Egyetem u. 10., I-épület, 1. emelet

Szakterületeink:

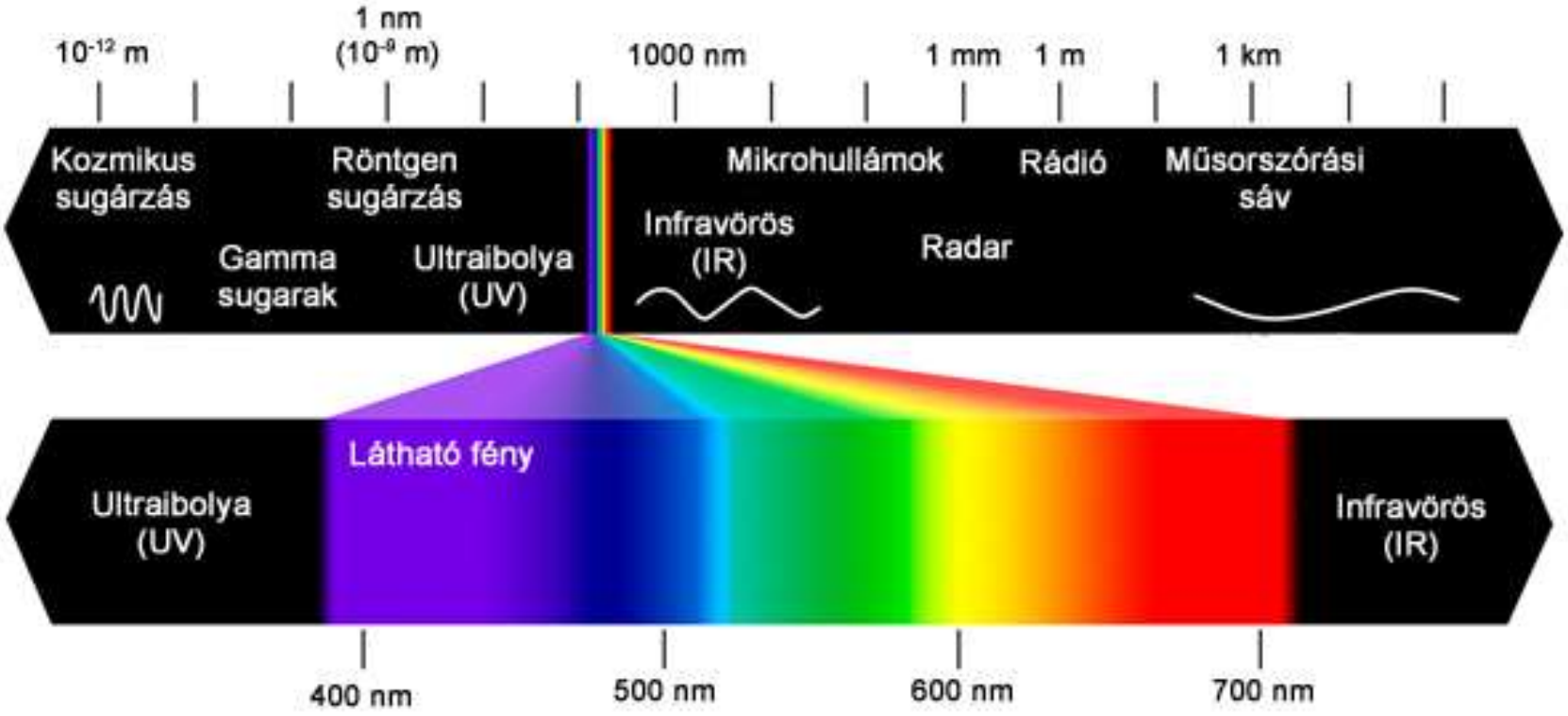
- spektrofotometria,
- goniofotometria,
- fénysűrűség mérés,
- reflexió és transzmisszió mérés,
- ICC profilok,
- színképi optimalizálás,
- vizuális kísérletek,
- LED öregítés,
- energiahatékonyság,
- múzeumvilágítás.



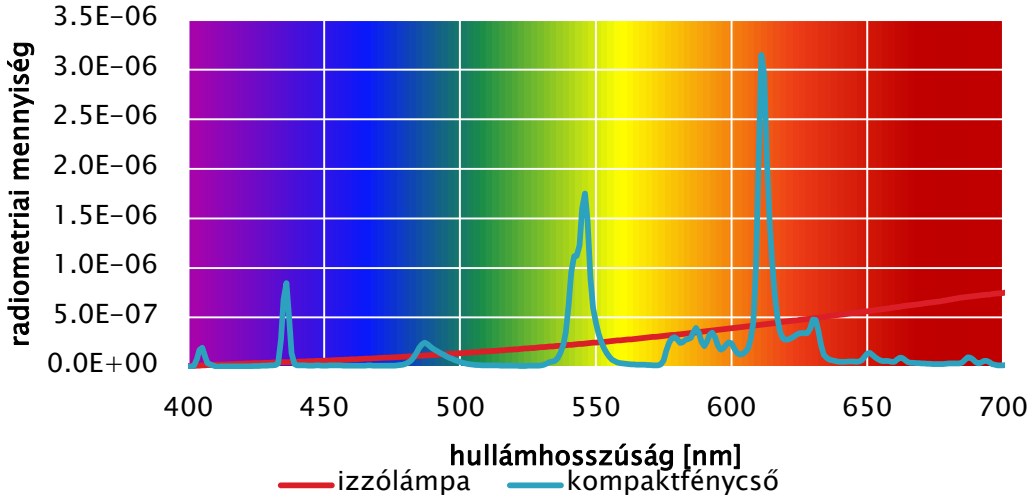
http://vision.uni-pannon.hu

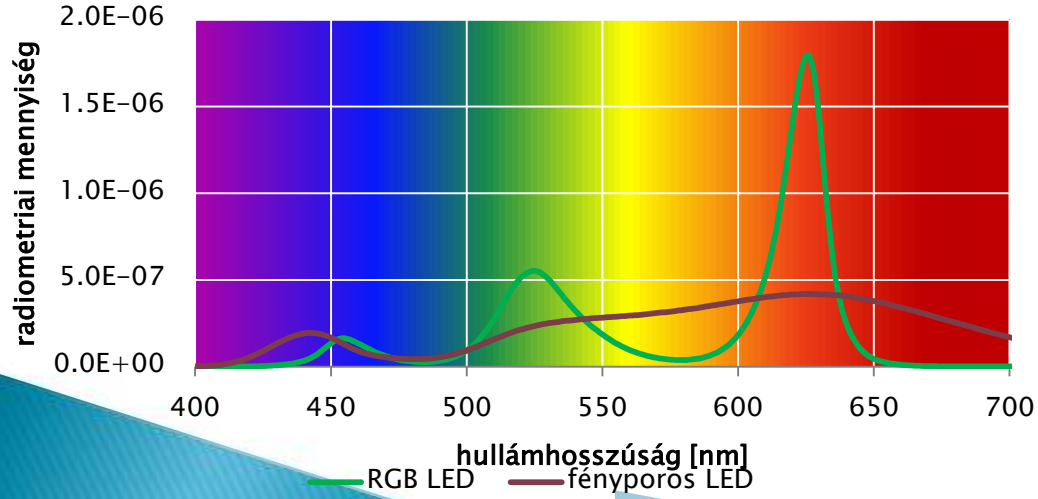
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Elektromágneses sugárzás



Spektrumok





hullámhossz függés: $X(\lambda)$

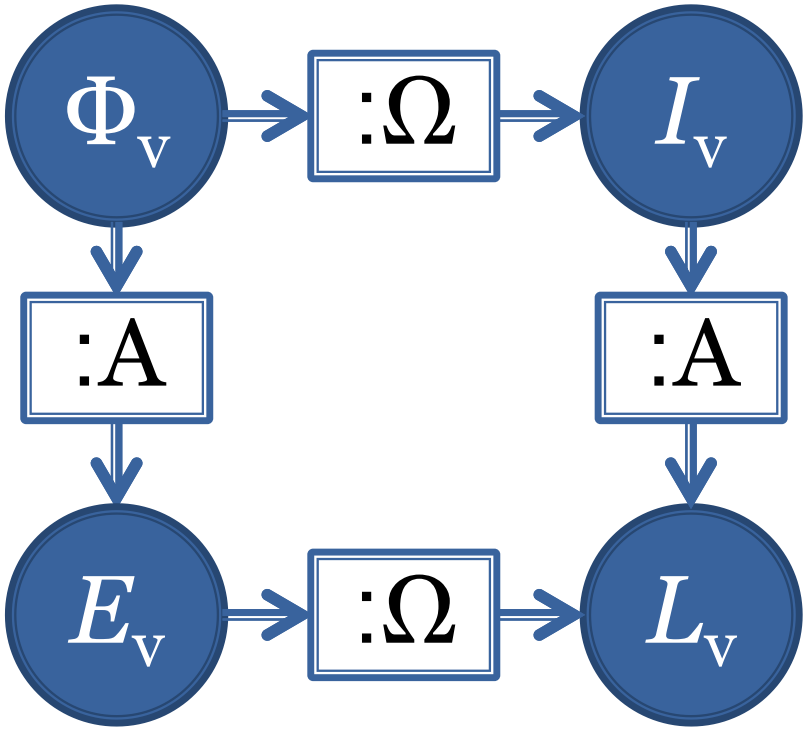
pl. szűrő áteresztés

színképi eloszlás:

$$\mathrm{d}X/\mathrm{d}\lambda = X_\lambda$$

Katódsugár-csöves monitor fényporainak színképi eloszlás

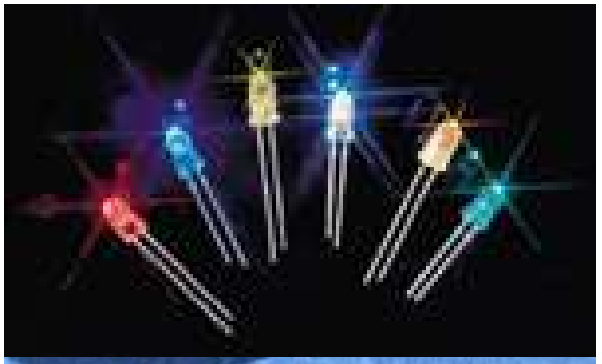
Fotometriai mennyiség	egység
fényáram, Φ_v	lm
megvilágítás, E_v	lx=lm/m²
fényerősség, I_v	cd=lm/sr
fénysűrűség, L_v	cd/m²



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Történeti áttekintés

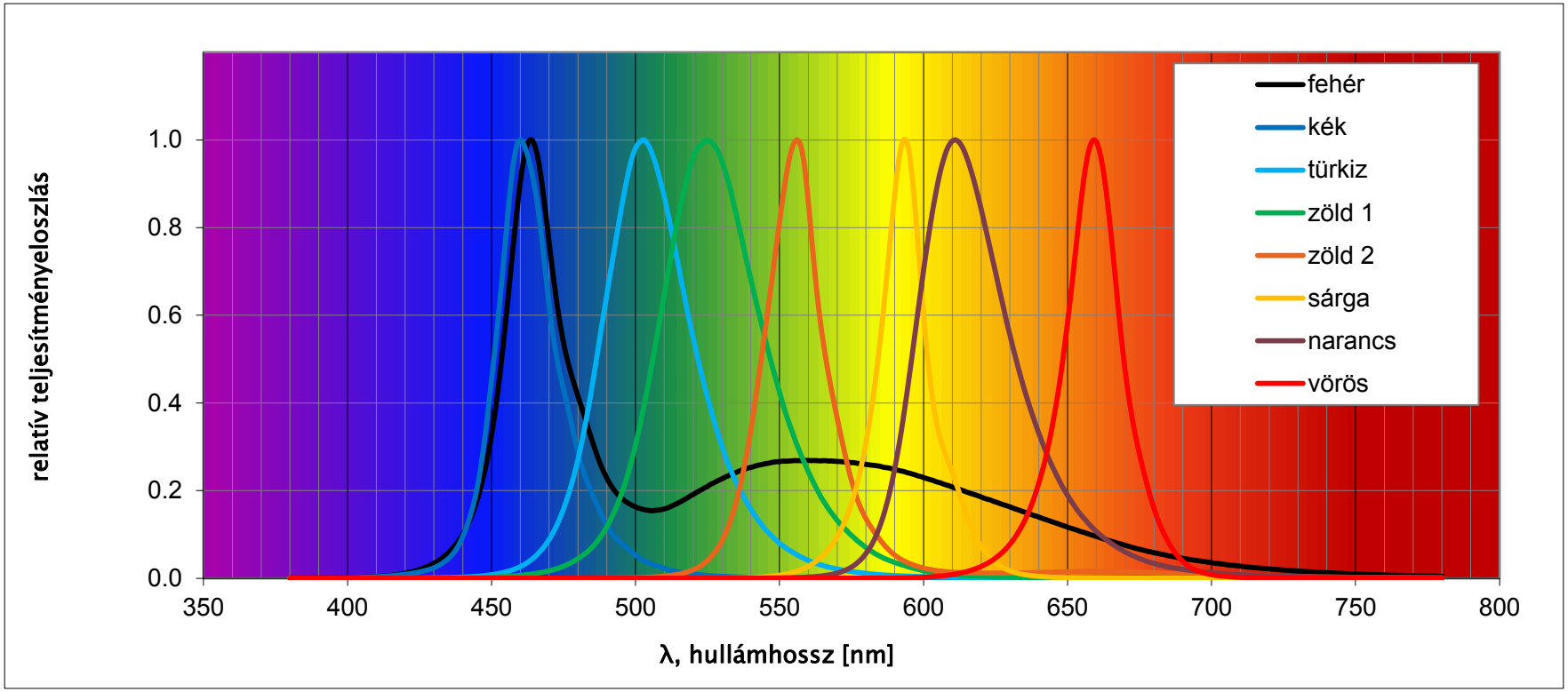
- SiC: HJ Round, 1907; Lossew, 1923.
- ZnS: Destriaux, 1936.
- Magyar szabadalom: Szigeti-Bay: elektrolumineszcens világítás (1939)
- GaAsP: Holonyak & Bevacqua, 1962.
- GaN: Nakamura, 1991
  - (**Isamu Akasaki**, **Hiroshi Amano** & **Shuji Nakamura**)
    Nobel-díj 2014!
- High power LEDs



* From S Kern: Light emitting diodes in automotive forward lighting applications, SAE 2004 Conf. Proceedings.

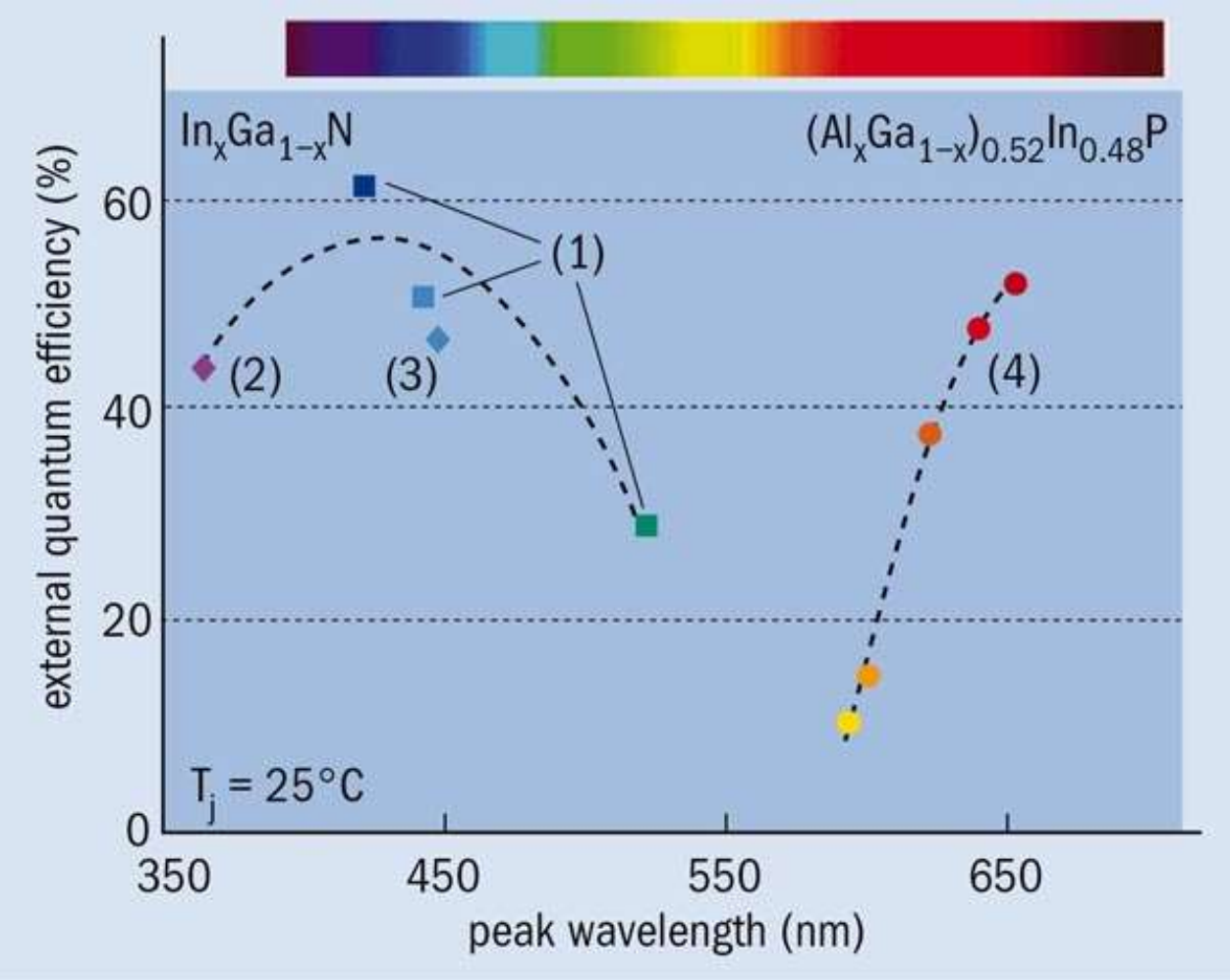
zintan
Kutatólaboratórium

LED színképek

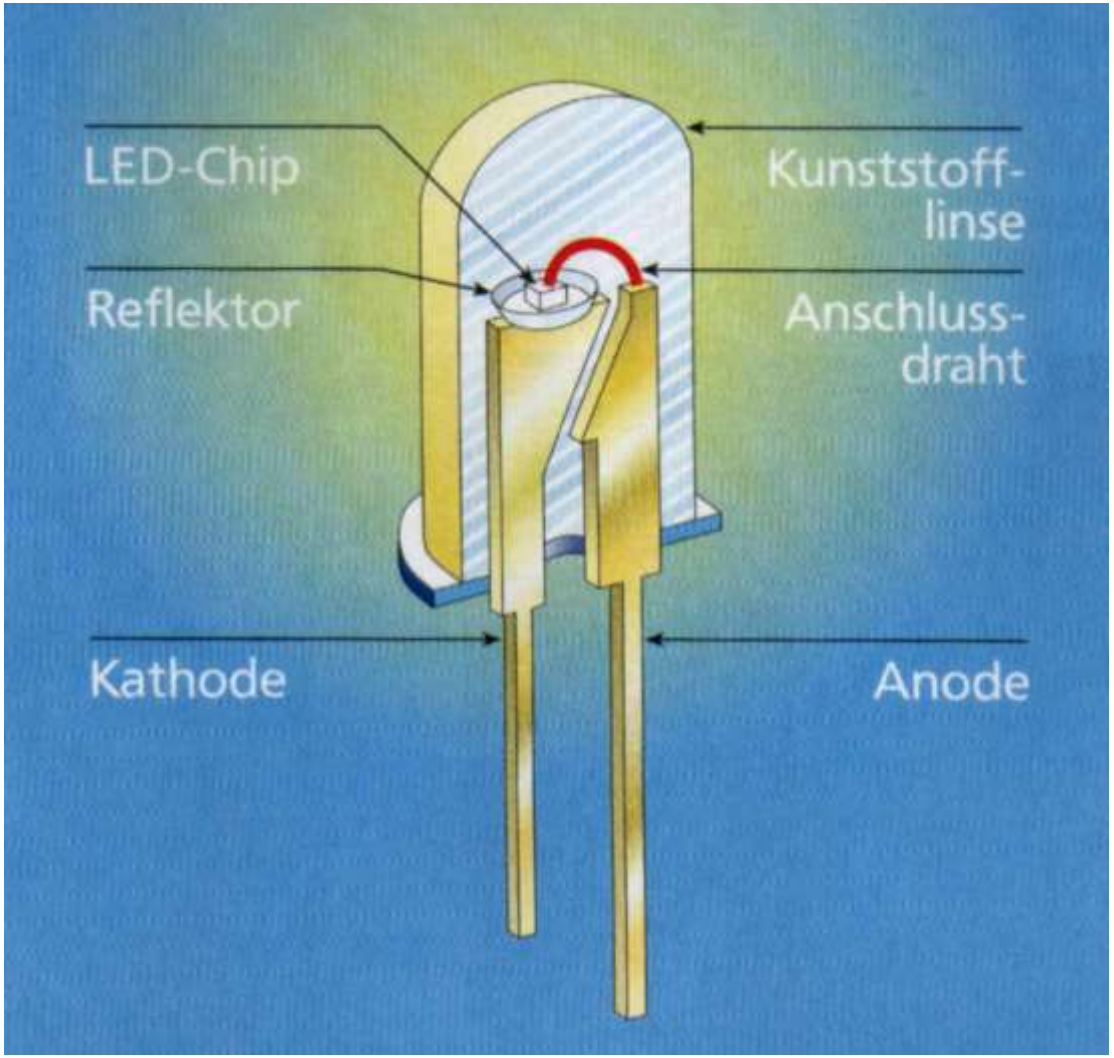


Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Különböző LED típusok hatásfok adatai



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

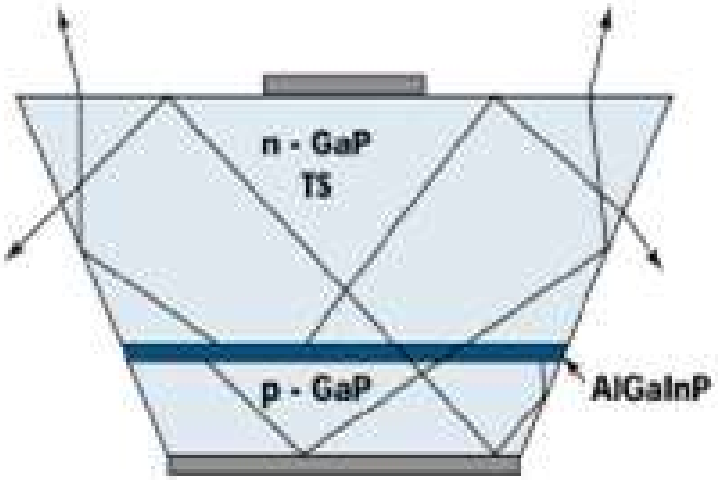

LED-Chip
Reflektor
Kathode
Kunststoff-
linse
Anschluss-
draht
Anode

Fénykicsatolás

Absorbing GaAs base

Transparent GaP base

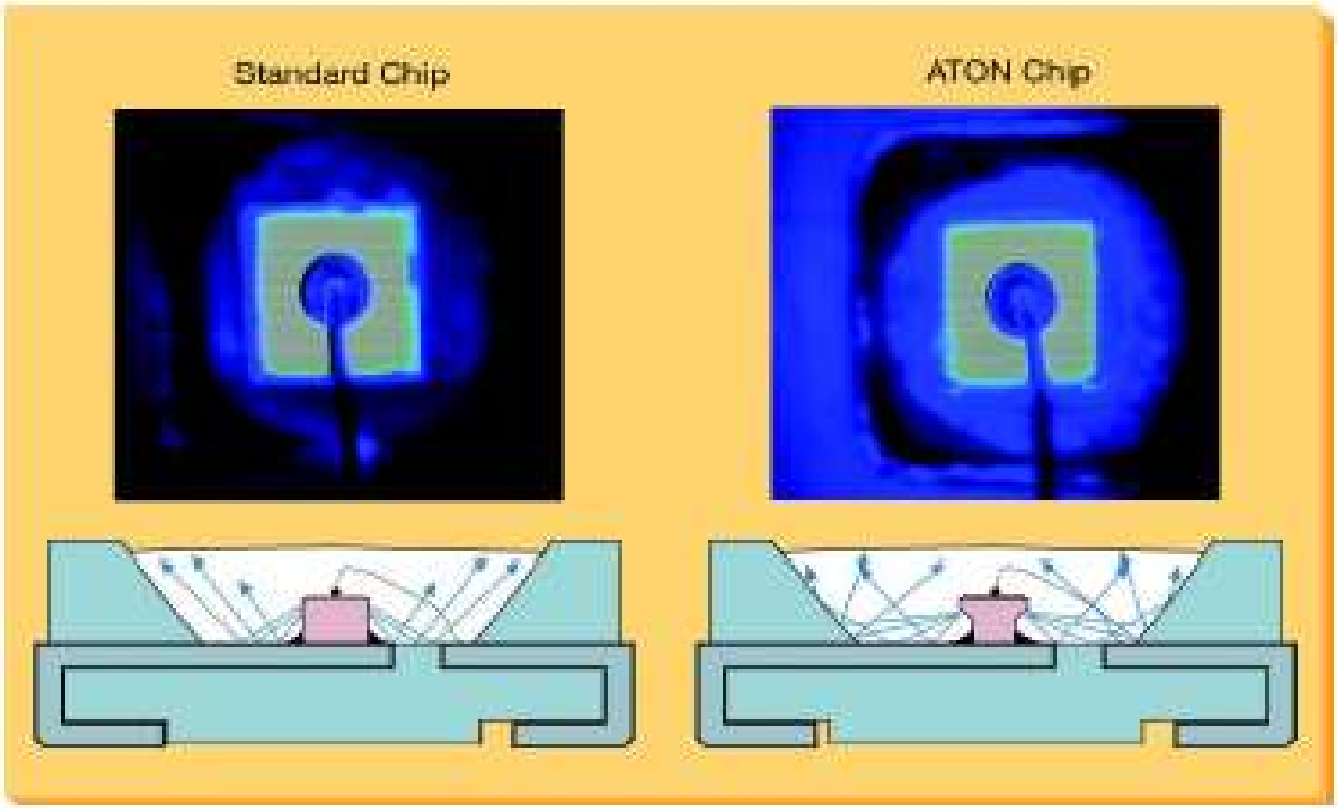
Fénykicsatolás GaP alapú LED lapkából



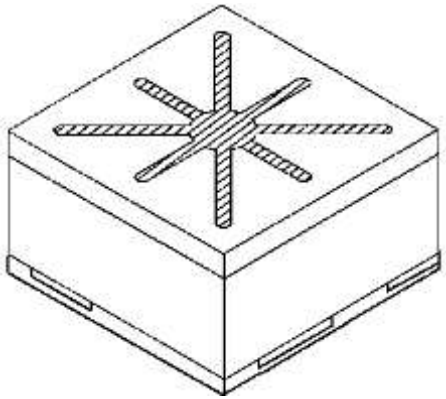
- TIP (truncated inverted pyramid) LED
- >100 lm/W peak efficiency

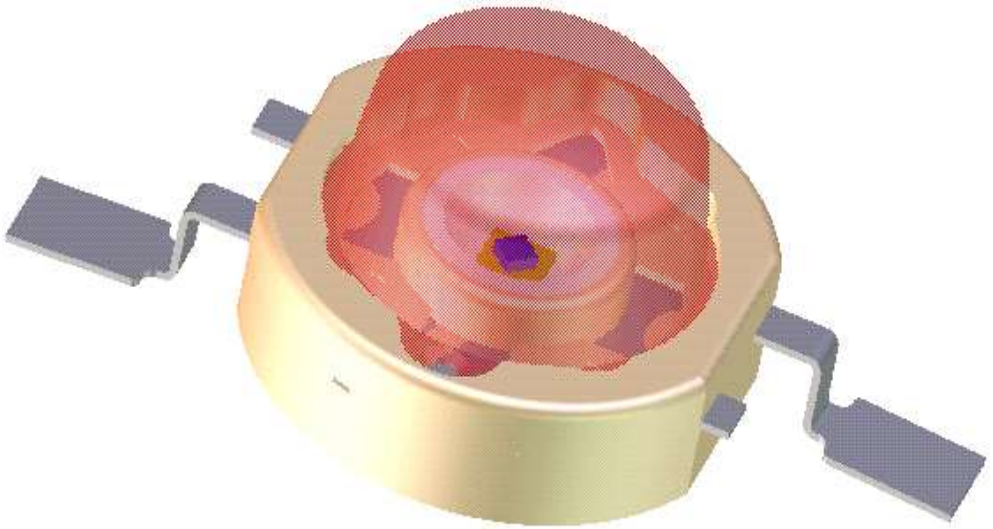
Source: LumiLeds Lighting

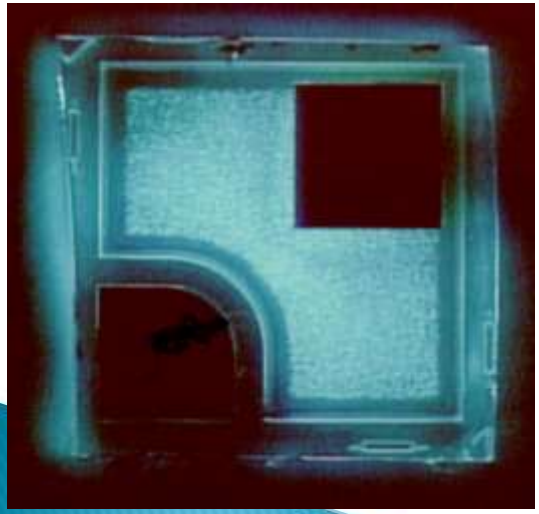
Kicsatolás hagyományos és fazettált LED esetén

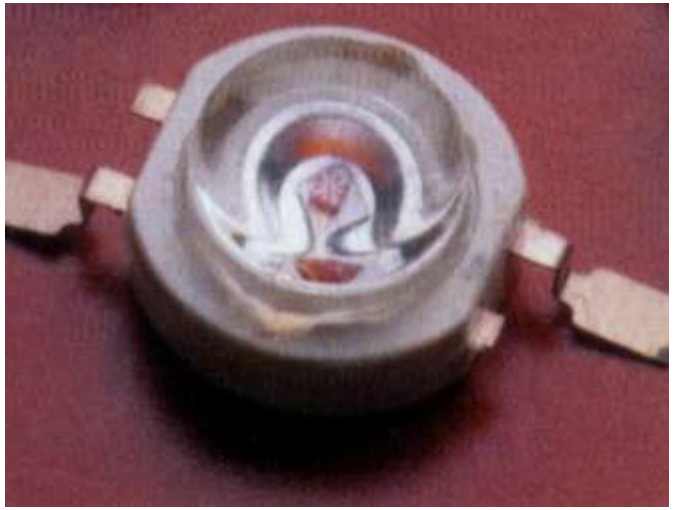


Source: Osram Opto Semiconductors

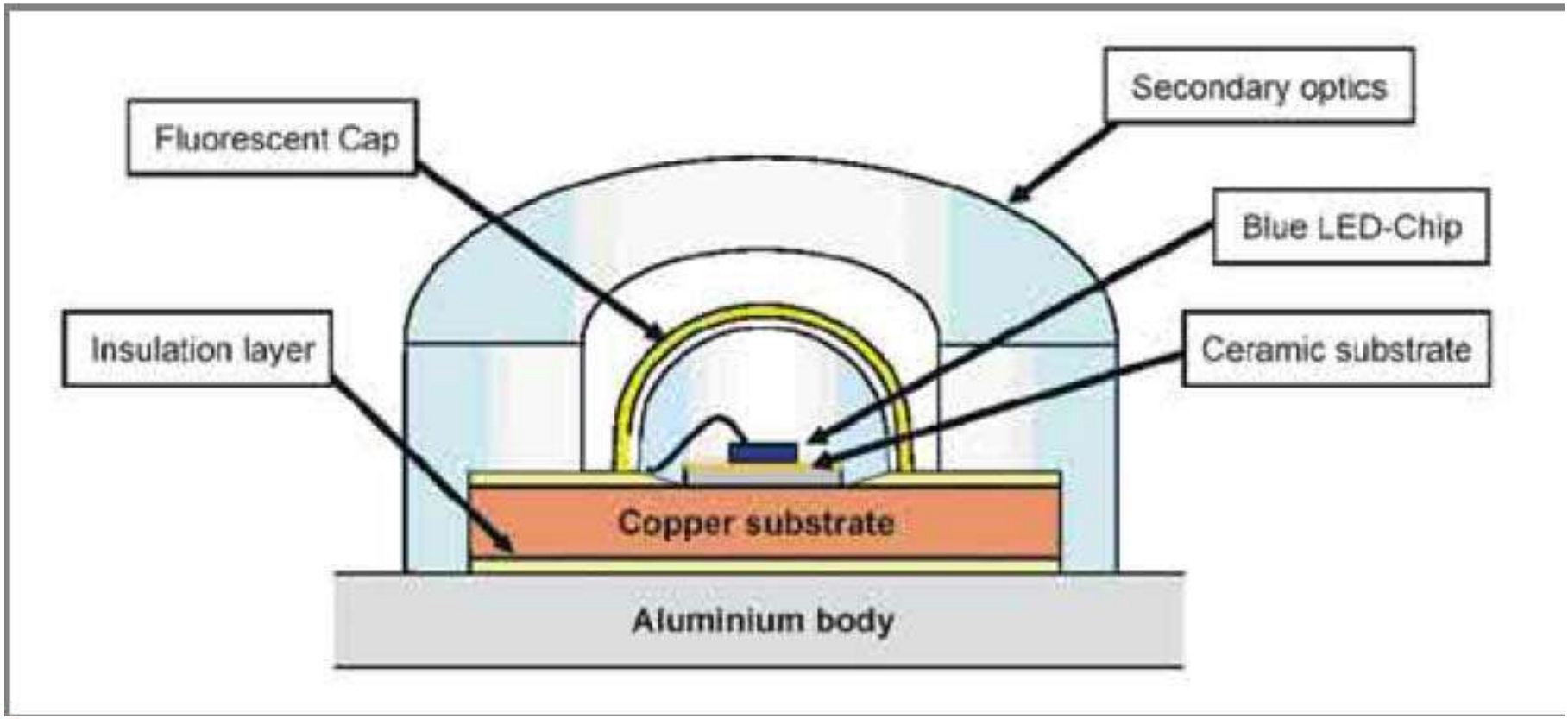








Fénypor, tokozás

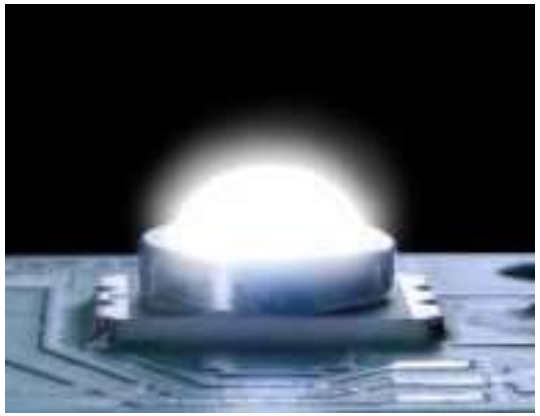


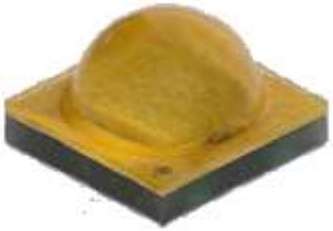
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Teljesítmény LED-ek

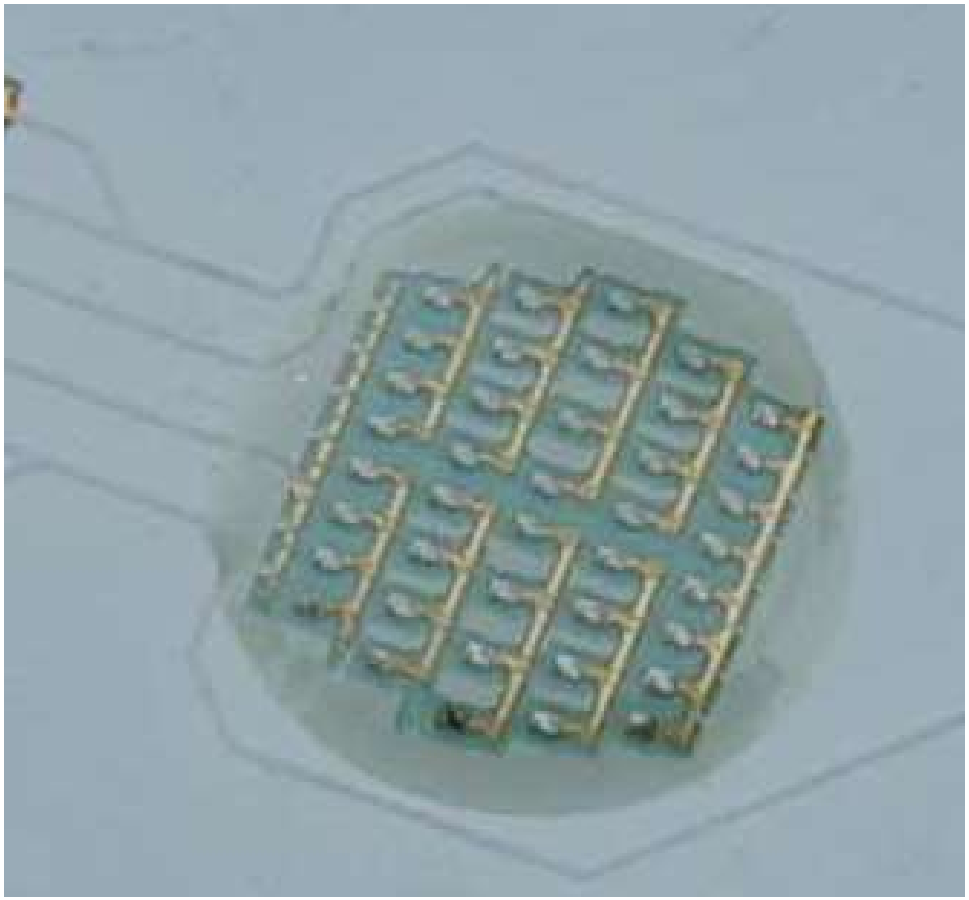
Forrás: http://www.fenybirodalom.hu

Osram Golden Dragon LED





Sok egyedi LED morzsából összetett fényforrás



Tipikus méret: 0,5 cm^2 – 2 cm^2,
összfényárama eléri az 50 lm értéket.

SMD LED-ek (surface mounted device)

Forrás: http://www.fenybirodalom.hu

COB LED-ek (chip on board)

Forrás: http://www.fenybirodalom.hu

MCOB LED-ek (multi chip on board)

Forrás: http://www.fenybirodalom.hu

COG LED-ek (chip on glass)

- …avagy L[illegible]ment LED)

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

A retrofit megoldások

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

A retrofit megoldások alternatívái

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Tisztán LED-es világítótestek

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Hatásfok, fényhasznosítás

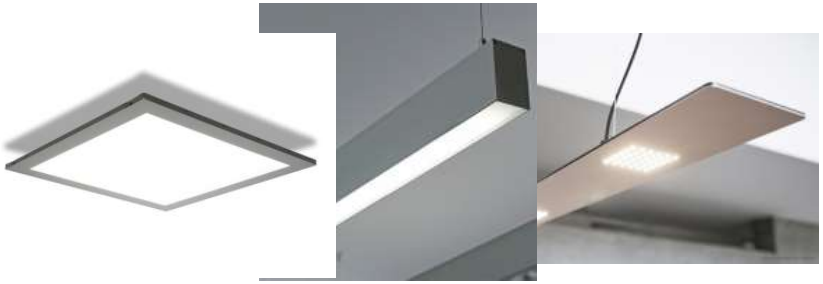
- *sugárzási hatásfok*,
  - a sugárzó sugárzott és **felvett teljesítményének** hányadosa
  - jel: η_e, egysége: 1
- *fényforrás fényhasznosítása*,
  - a kibocsátott Φ_v fényáram és a sugárzó által **felvett teljesítmény** hányadosa
  - jel: η_v, egysége: lm/W
- *sugárzás fényhasznosítása,*
  - a Φ_v fényáram és az annak megfelelő Φ_e **sugárzott teljesítmény** hányadosa
  - jel: *K,* egysége: lm/W

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Fényforrások fényhasznosítása

Fényforrás típusa	Fényhasznosítás (lm/W)
Hagyományos izzólámpa	14,4
Halogén izzólámpa	17
Kompakt fénycső	85
Nagynyomású fémhalogén lámpa	90
Nagynyomású Na-lámpa	150
Kisnyomású Na-lámpa	200
LED (világítódióda) fehér!	80 – 223 (303)

Ma elérhető fényhasznosítások

LED fényforrású	Rendszerszintű fényhasznosítás lm/W
Retrofit lámpák	~60-120+
LED világítótestek 	~90-150+

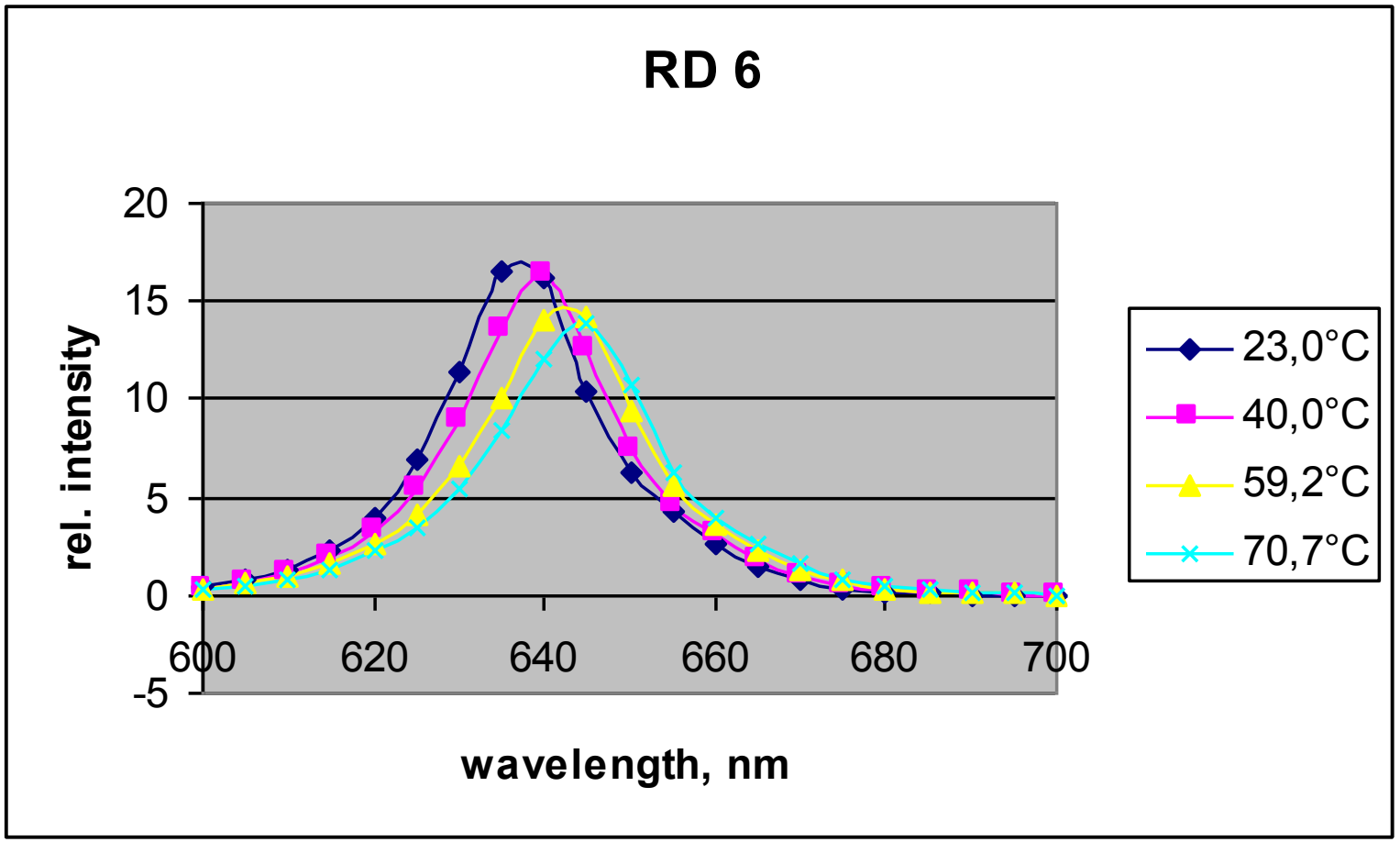
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

LED-ek hőmérsékletfüggése

- LED-ek hőmérsékletfüggő tulajdonságai:
  - optikai teljesítmény ⇒ fényhasznosítás,
  - színképi teljesítmény eloszlás,
    - színes LED-ek: csúcs hh. +/- néhány nm,
    - fehér LED-ek: gerjesztő kékcsúcs+fénypor által keltett sugárzás aránya
  - élettartam,
  - nyitófeszültség.

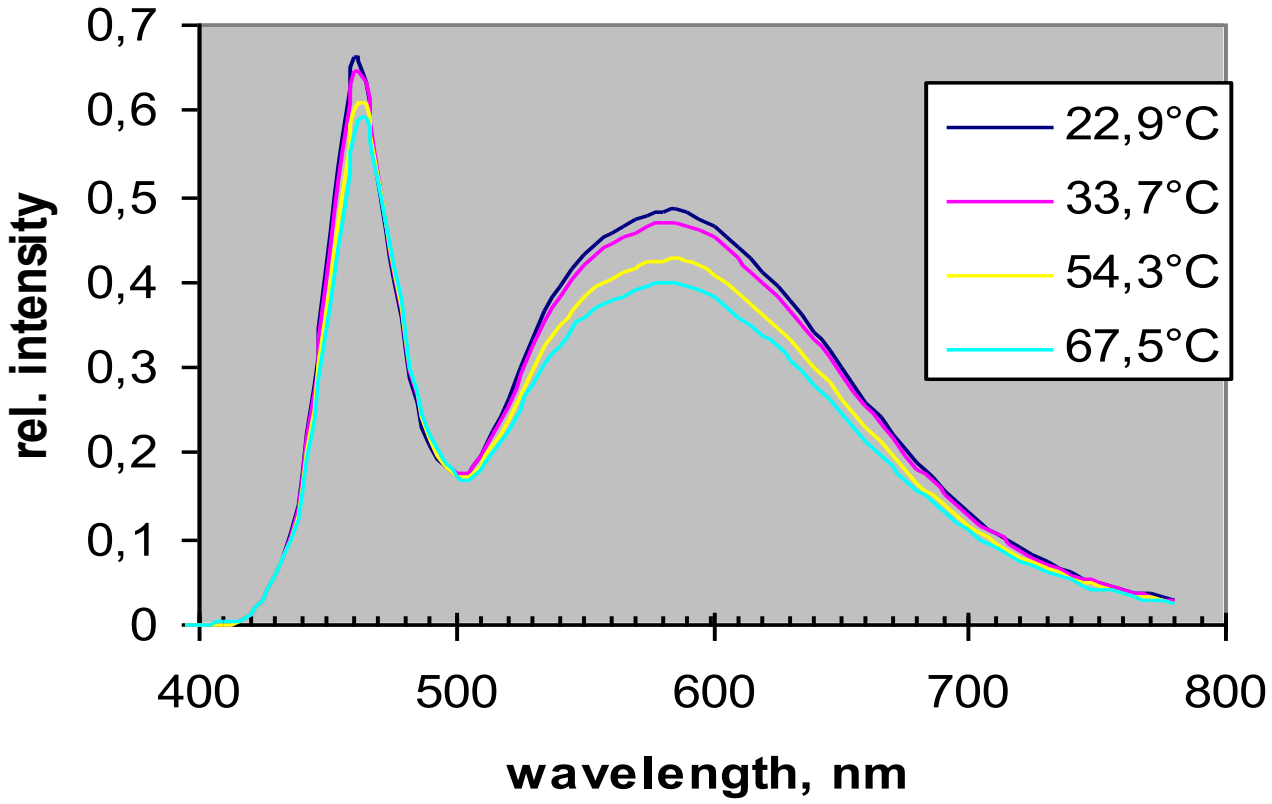
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Vörös LED színképének hőmérsékletfüggése



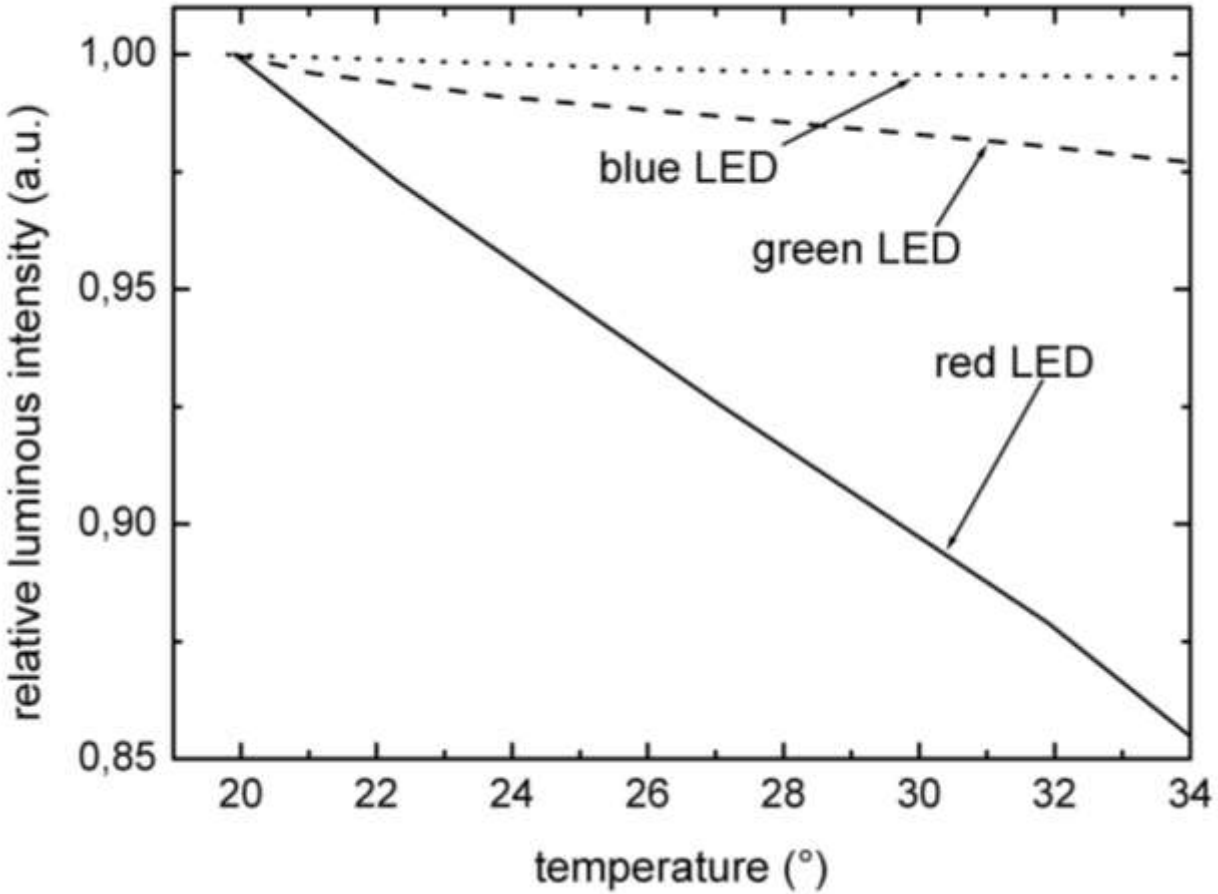
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Fényporos fehér LED színképének hőmérsékletfüggése



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Különböző összetételű LED-ek fényáramának hőmérsékletfüggése



Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

LED-ek meghibásodásának okai

- A kristálystruktúra hibái, ezek mozgása
- Az árambevezetés túlterhelése
  - Külső kontaktus
  - Áram eloszlás a rétegben
- Fénypor öregedés
- Tokozás
  - külső behatások: nedvesség stb.

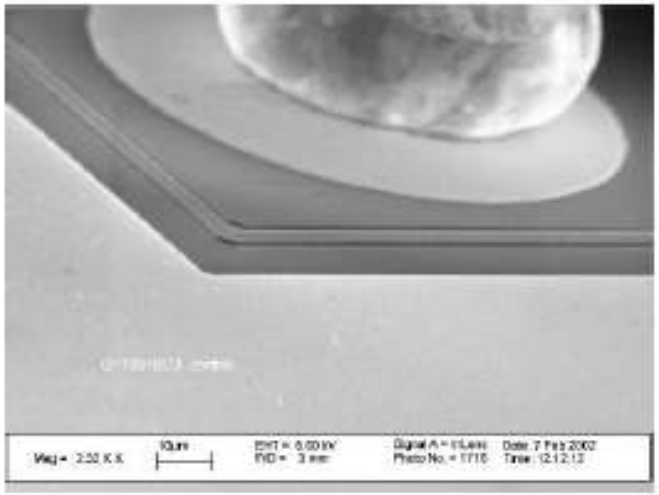
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

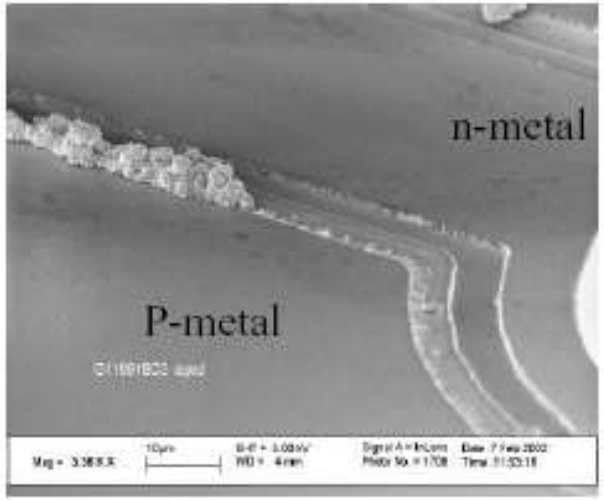
LED élettartam: korrózió

GELcore

Large Flip Chip on Al_2O_3 , low current density

Catastrophic Ir Failure Root Cause: Ag electromigration
(previously reported by Lumileds Lighting)





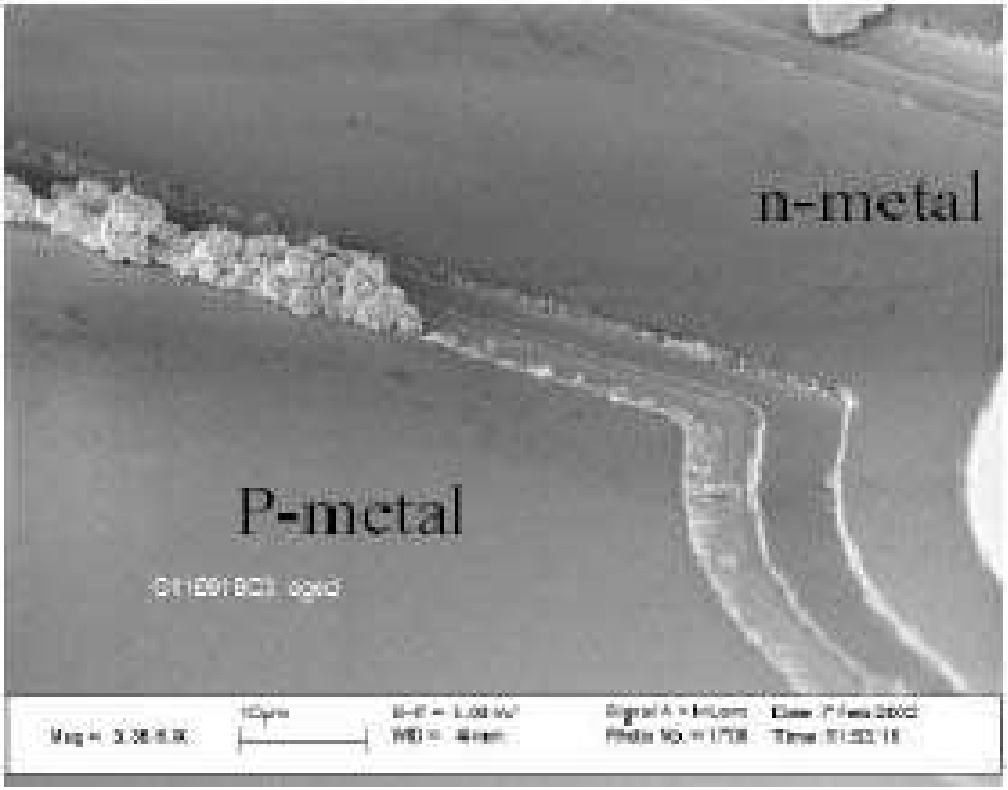
Control device with Ag contact **Aged device with Ag contact**

Electrochemical degradation of Ag through SiO_2 passivation causes reverse current leakage increase

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Tokozás

- Korrózió elleni védelem
- Fénypor hőmérséklete
- Termikus ellenállás csökkentés



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Öregítő berendezés

- Julabo F25-MC folyadékos termosztát,
- LightingMetrics hőszigetelt kamra 60 db LED felszereléséhez
- oszloponként áramgenerátor 350 mA, ill. 700 mA.

Kutatólaboratórium

Öregítő berendezés

Öregítés $T_{\text{hátlap}} = 85°C$-on

Kezdetben, 7000 órával ezelőtt:

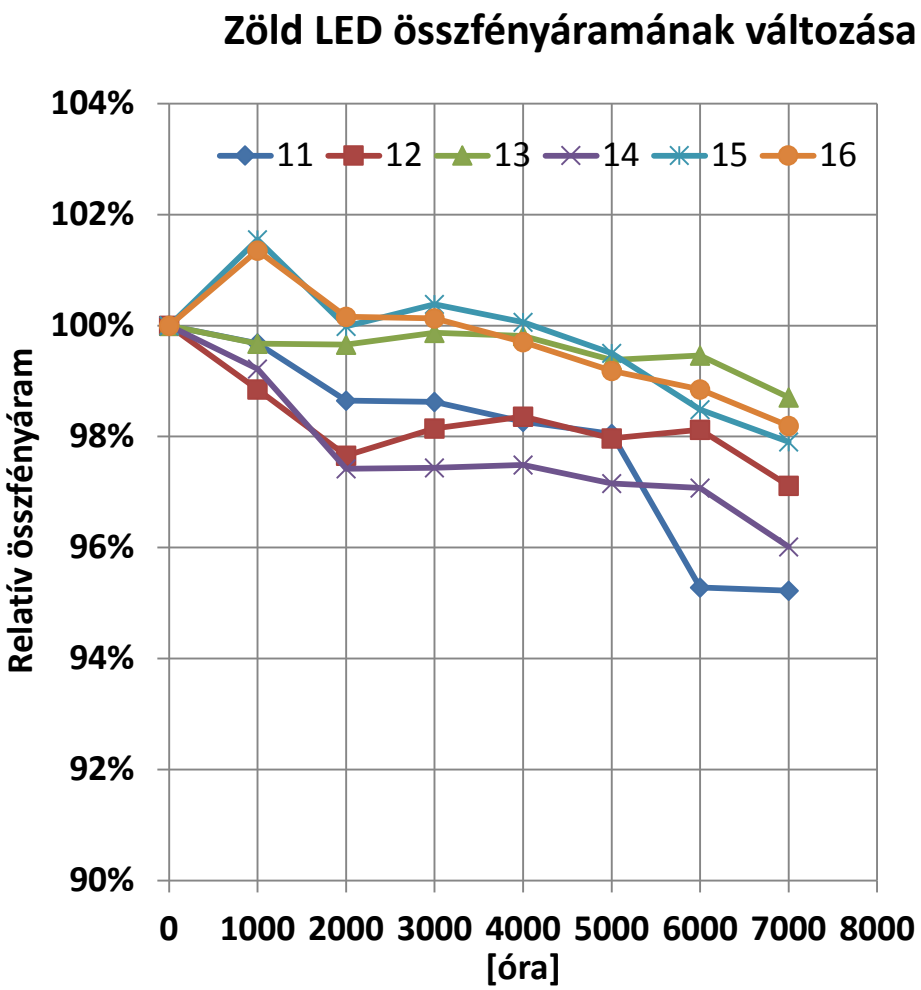
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

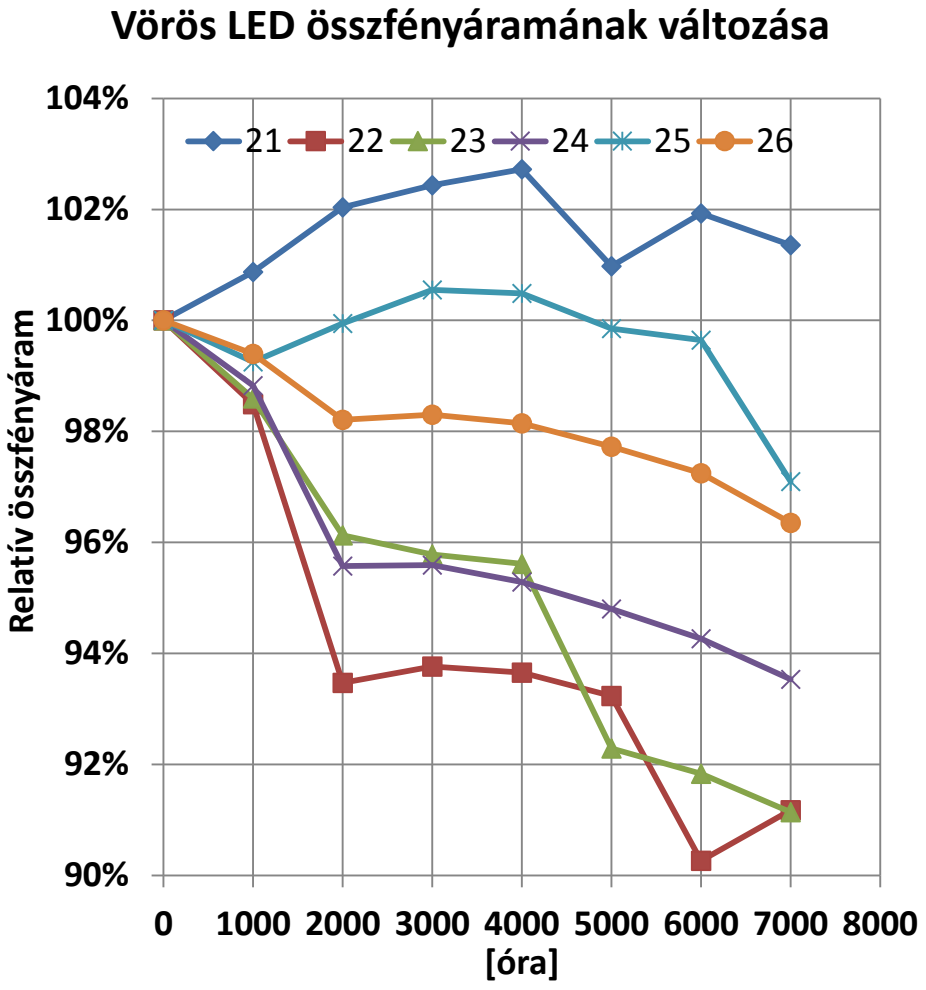
Mérési eredmények –(rel.) összfényáram

- V(λ) illesztett detektor
- pozícionáló tubus
- PC-s szoftver időzített mérési lehetőséggel

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

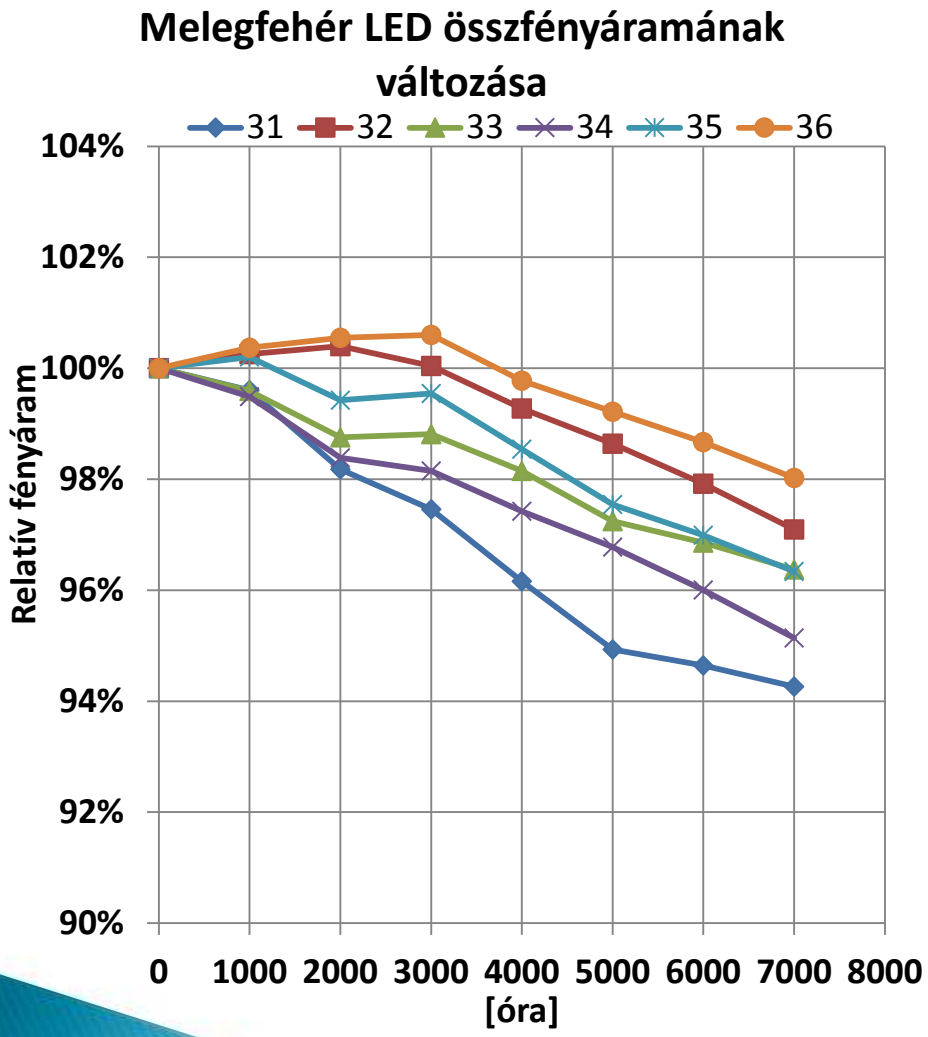
Mérési eredmények –(rel.) összfényáram

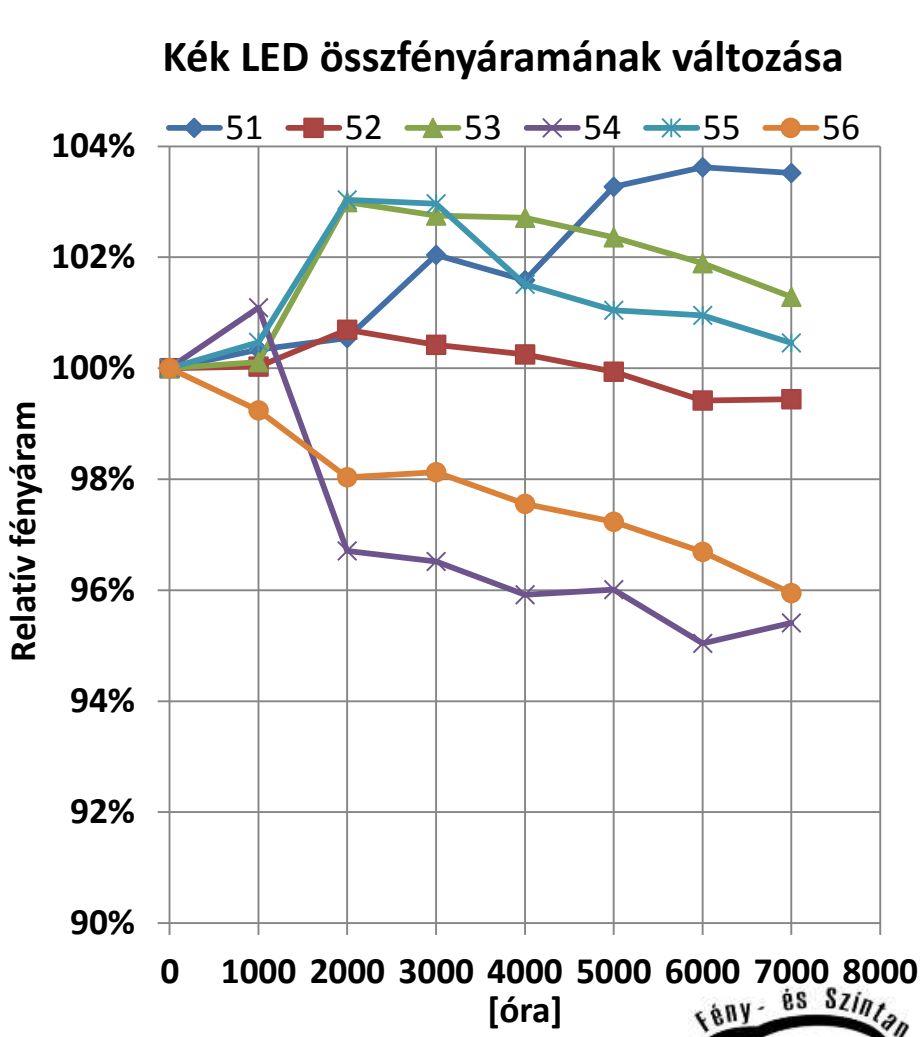




Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Mérési eredmények –(rel.) összfényáram





Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Nyitófeszültség mérése

- Keithley 2000 DMM,
  - egy teljes oszlop feszültsége fénymérésor (25°C, @350mA),
  - egyedi nyitófeszültségek és teljes oszlopfeszültség a három (25°C, 55°C, 85°C) ajánlott hőmérsékleteken mérve (@10 mA),
  - öregedő LED-ek nyitófeszültsége csökken! → LED-füzérek!!!

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

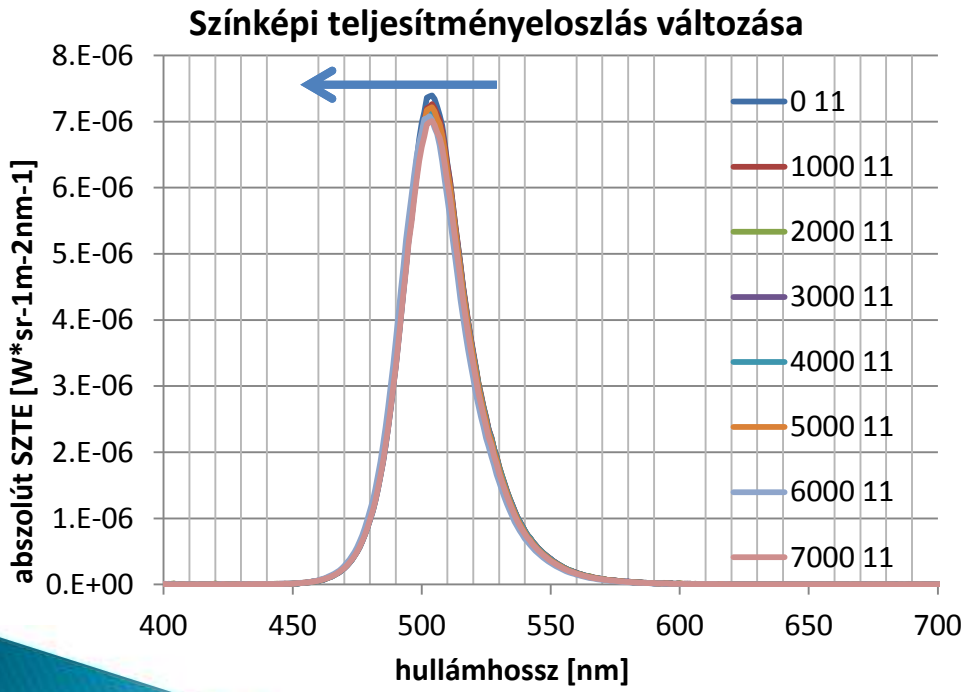
Mérési eredmények – színinger, teljesítmény eloszlás

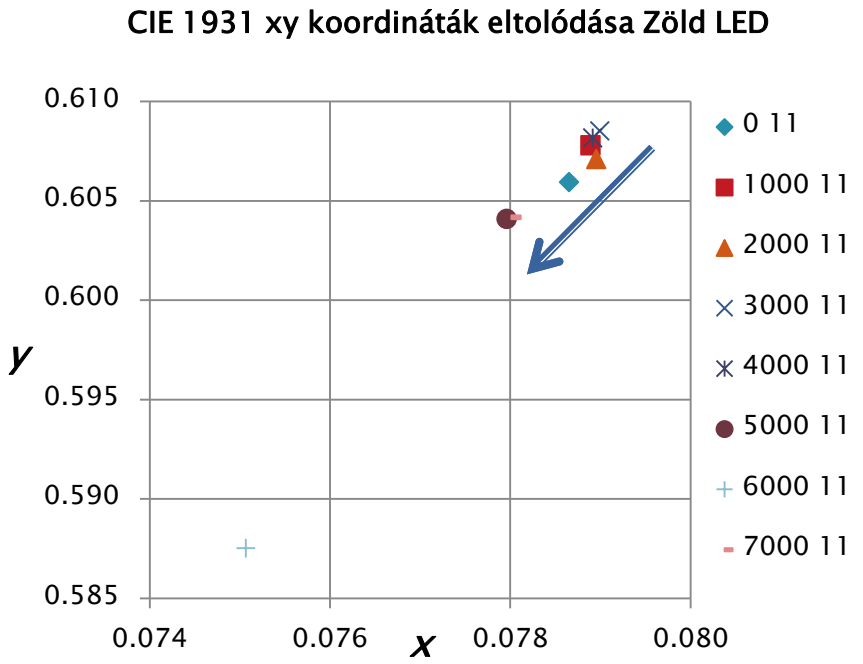
- 4 csatornás LightingMetrics színingermérő
- Avantes spektrofotométer

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Mérési eredmények – színinger

Minimális kék-eltolódás a csúcsban

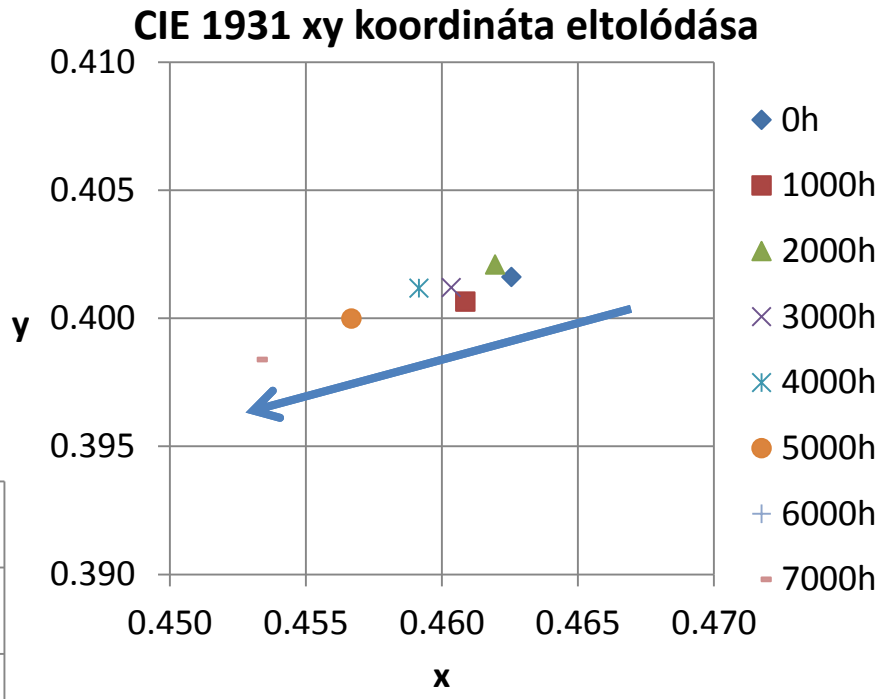


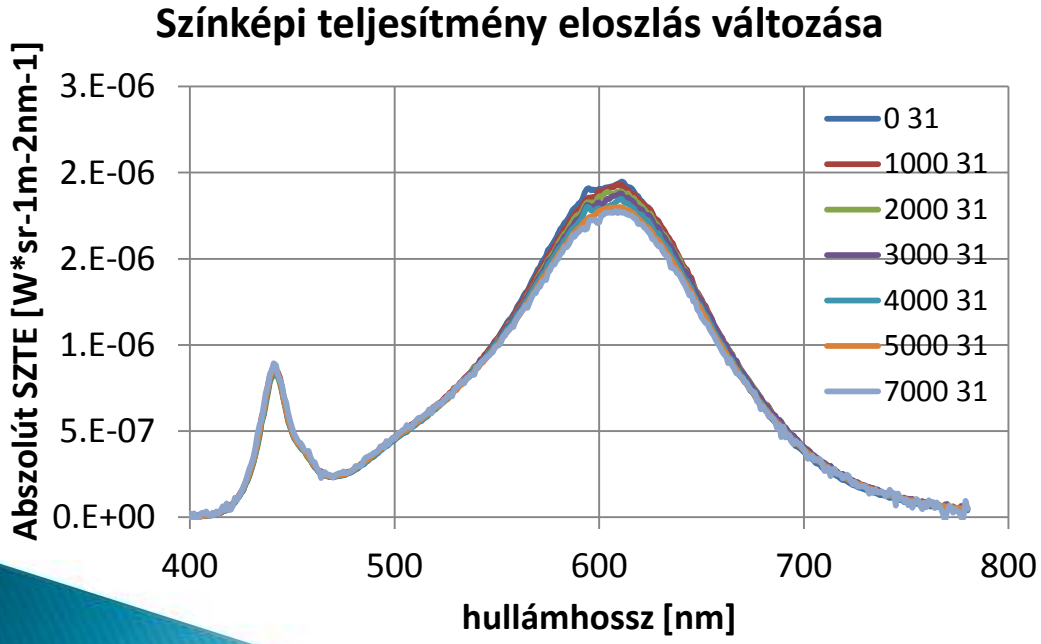


Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Mérési eredmények – színinger

Melegfehér LED – szintén kékeltolódás

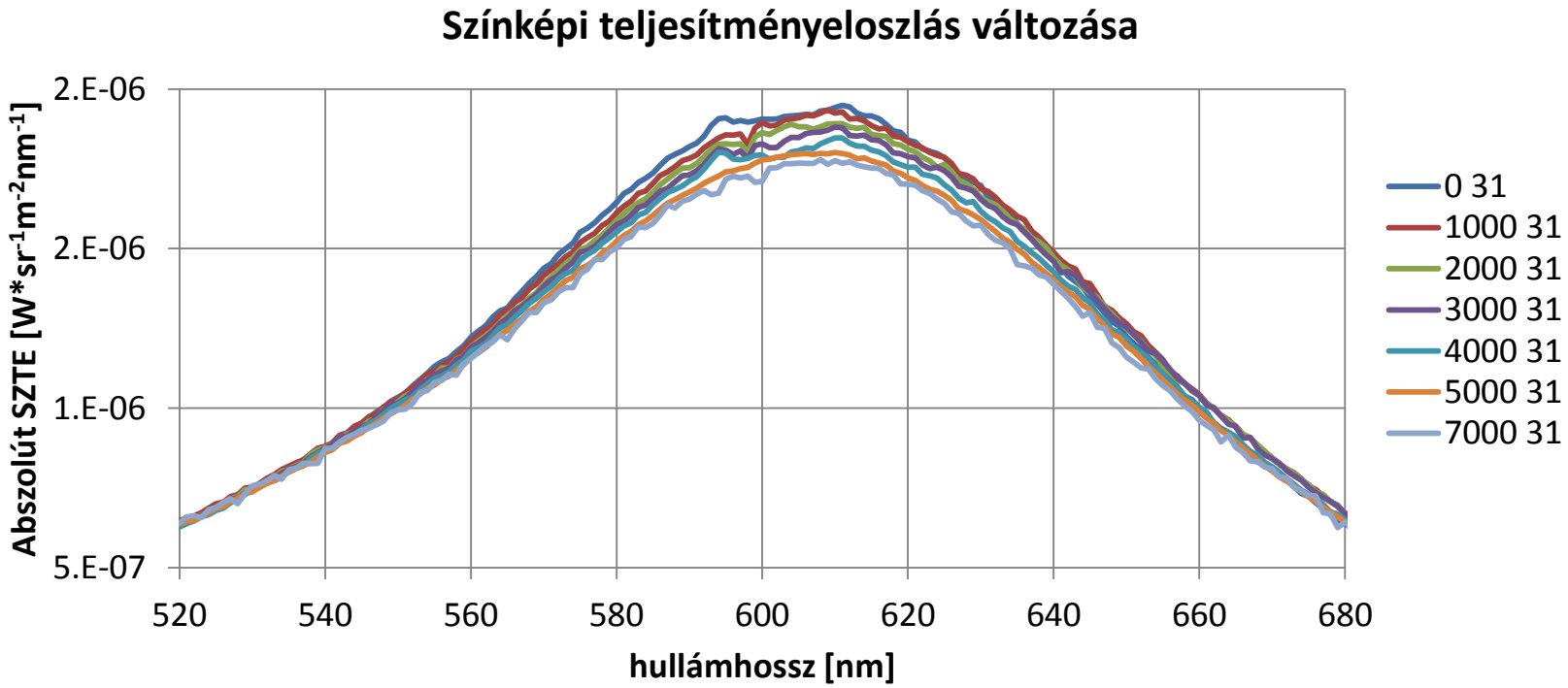




Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Mérési eredmények – színinger

- Melegfehér LED fénypor öregedése



Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Élettartam becslés
IES TM-21-11 szerint

ENERGY STAR® TM-21 Calculator

Note: Users should download a new copy of this calculator for each use, to ensure use of the most up-to-date version of the calculator. Users are encouraged to bookmark the hyperlink to this calculator. Project-specific copies complete with calculations may be saved on a local drive.

This calculator is based on the Illuminating Engineering Society's TM-21-11: *Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*. Calculator results have been validated by the U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST). Calculations are locked; only data entry cells may be modified.

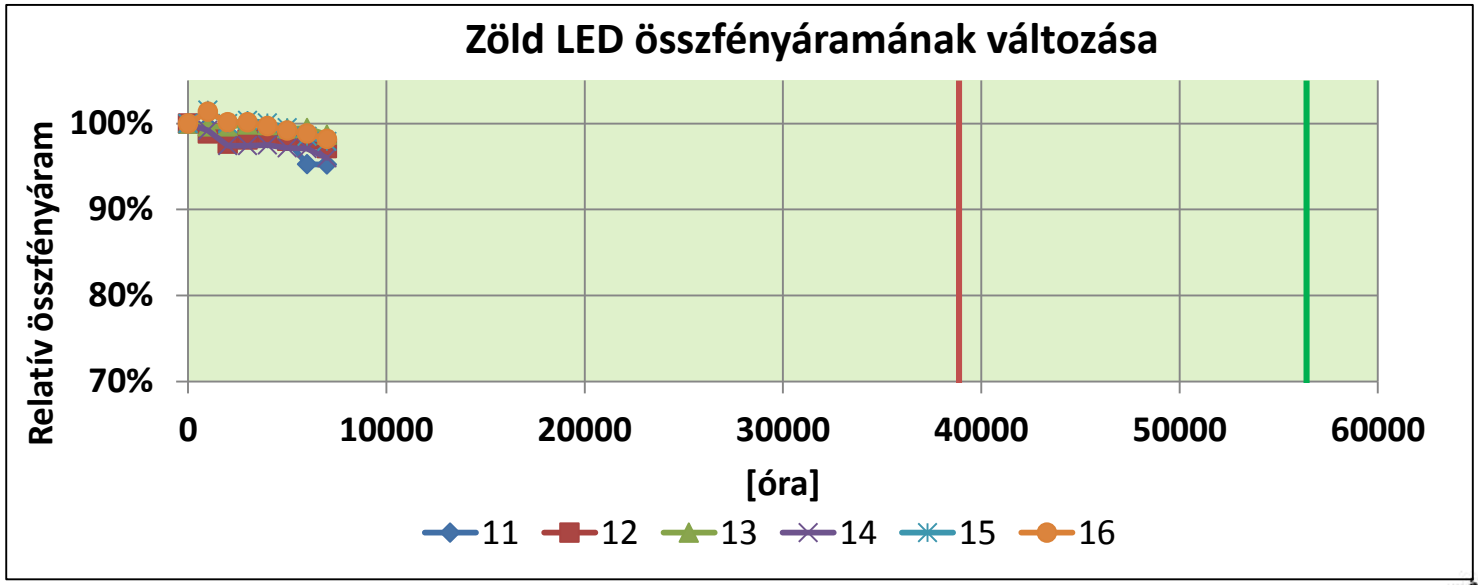
Calculator inputs are entered on the second tab, with instructions. The calculator may be used with one, two or three case temperatures. Inputting values on the second tab generates a complete TM-21 report on the Report tab.

Questions may be directed to luminaires@energystar.gov or lamps@energystar.gov.

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Élettartam becslés IES TM-21-11 szerint

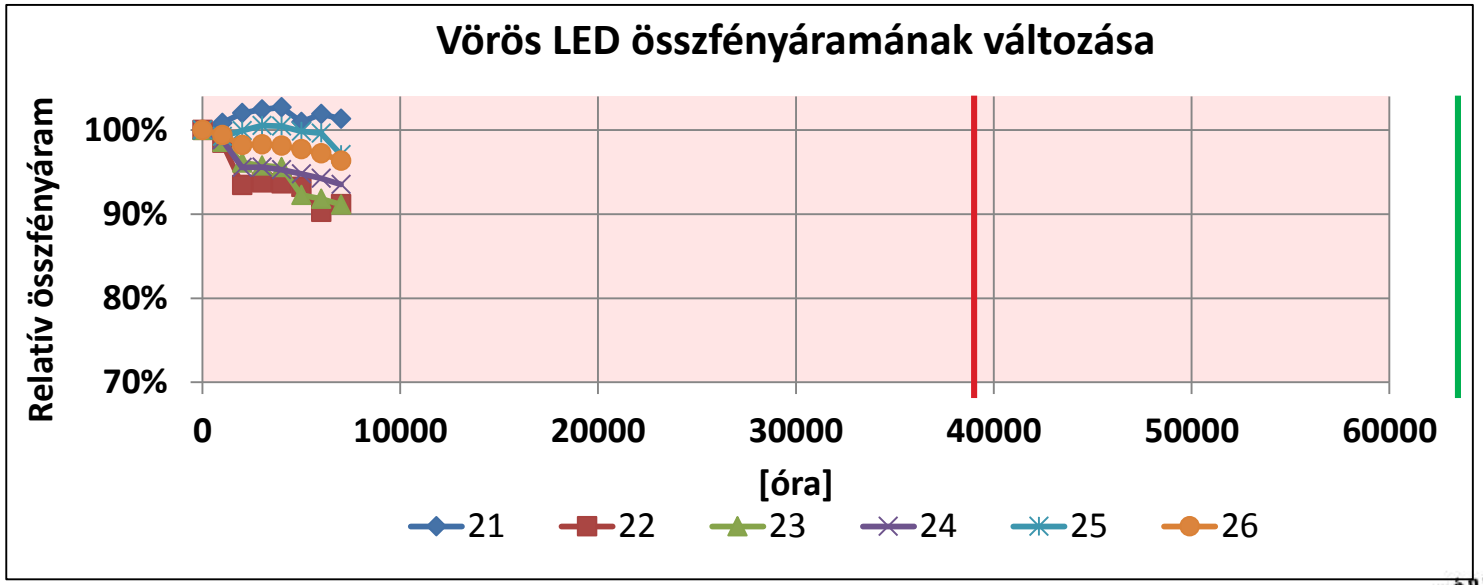
	Számított L70 (7k) (óra)	Jelenthető L70 (7k) (óra)	
1. sor	57 000	>39000	
2. sor	296 000	>39000	
3. sor	54 000	>39000	
5. sor	66 000	>39000	



Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Élettartam becslés
IES TM-21-11 szerint

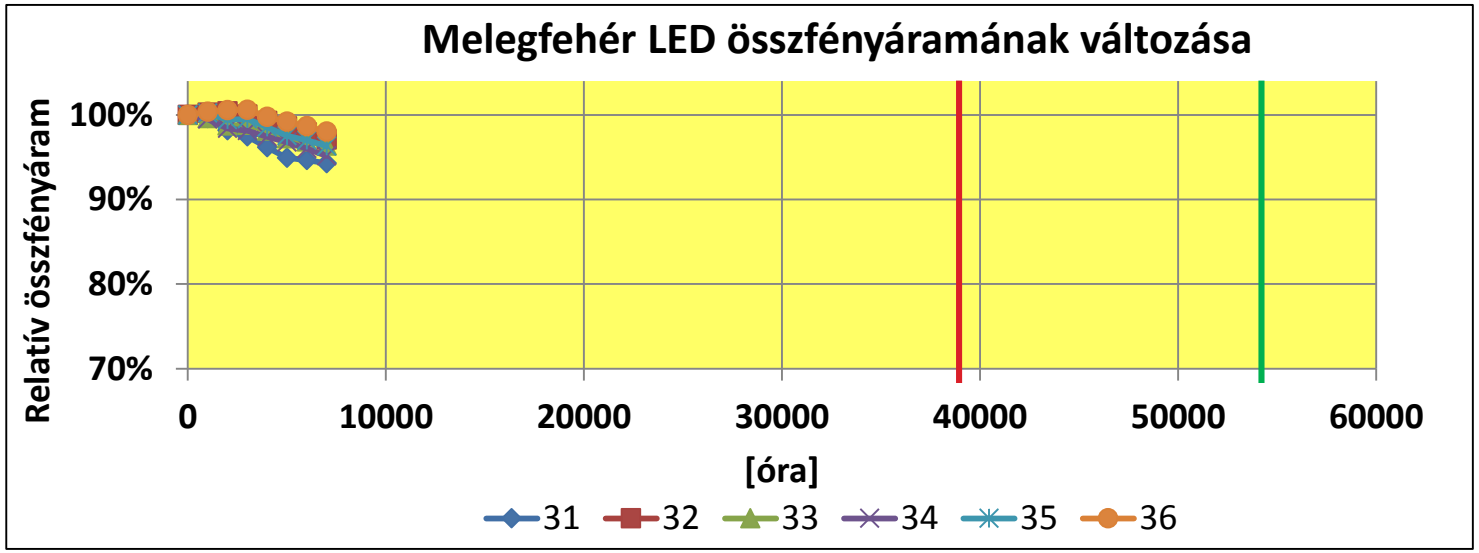
	Számított L70 (7k) (óra)	Jelenthető L70 (7k) (óra)	
1. sor	57 000	>39000	
2. sor	296 000	>39000	
3. sor	54 000	>39000	
5. sor	66 000	>39000	



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Élettartam becslés IES TM-21-11 szerint

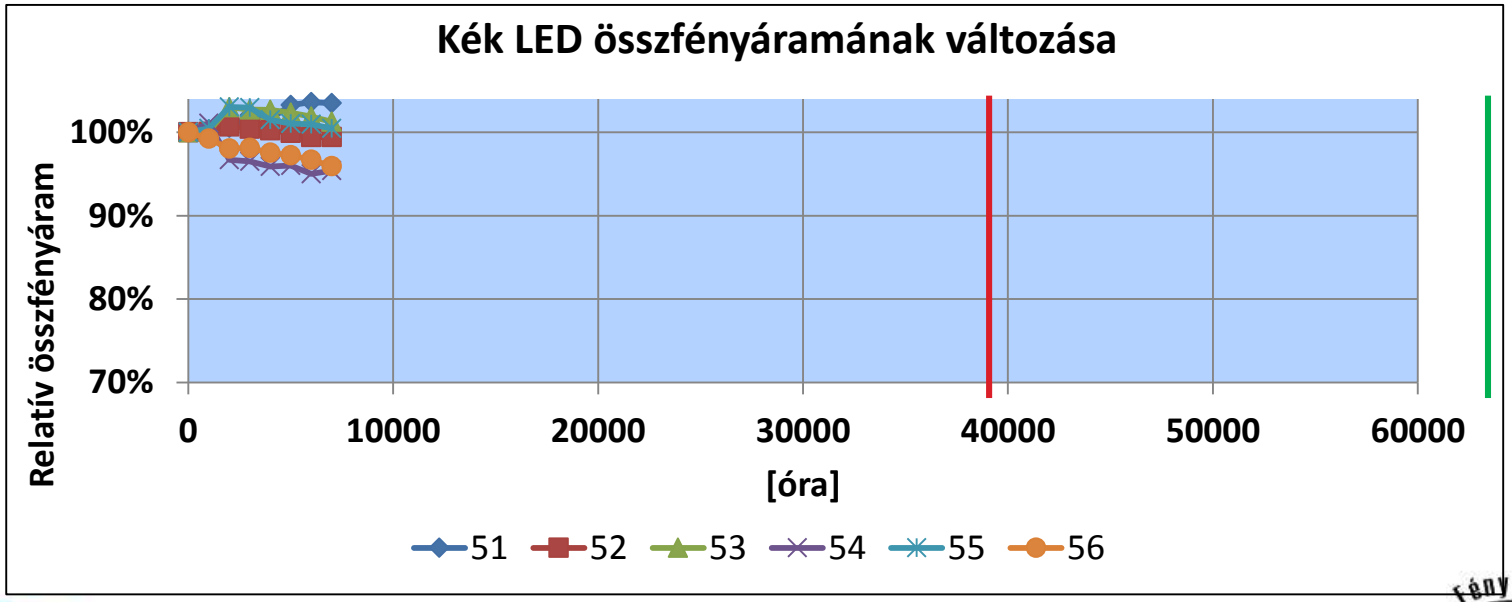
	Számított L70 (7k) (óra)	Jelenthető L70 (7k) (óra)	
1. sor	57 000	>39000	
2. sor	296 000	>39000	
3. sor	54 000	>39000	
5. sor	66 000	>39000	



Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

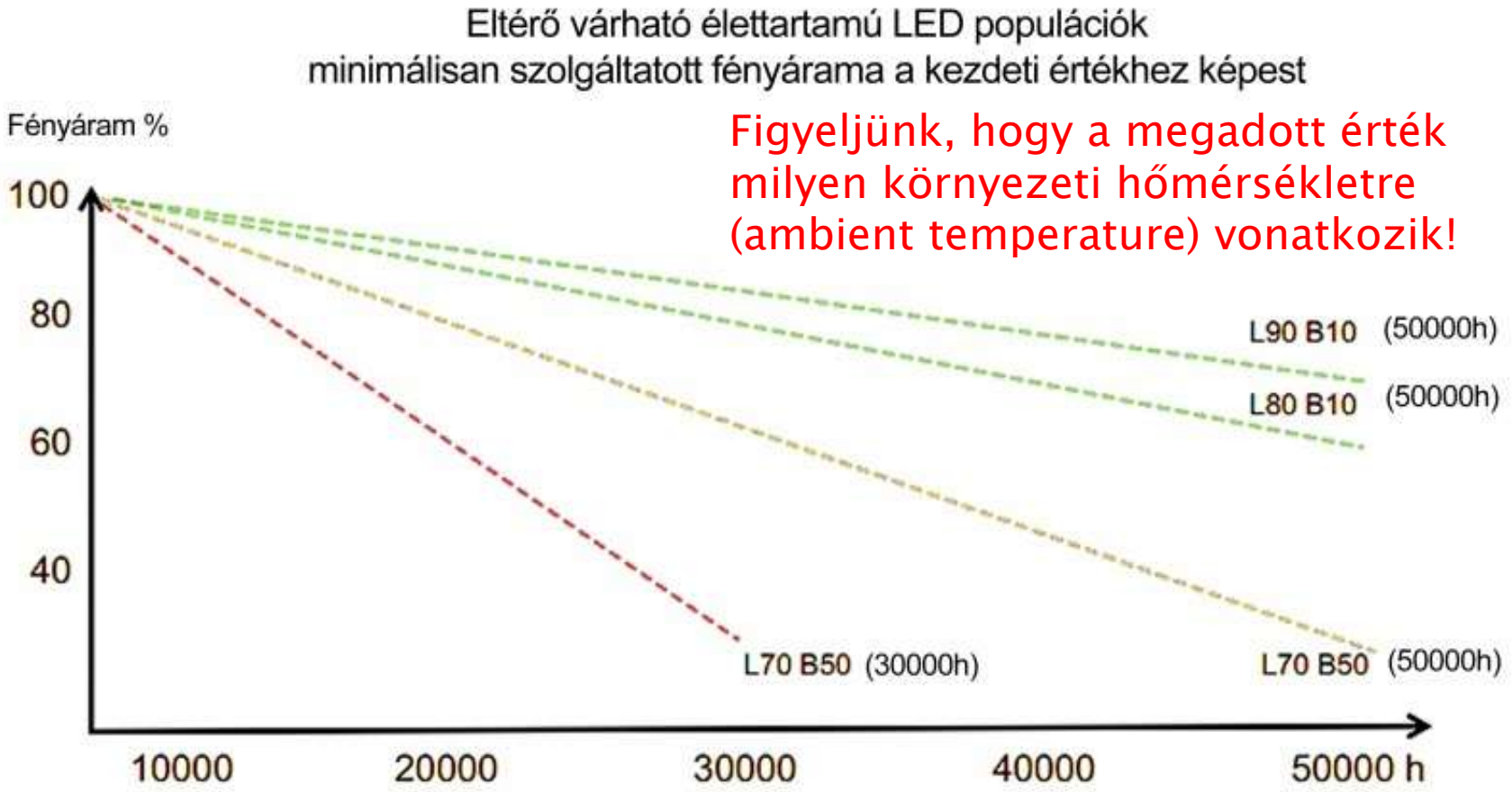
Élettartam becslés
IES TM-21-11 szerint

	Számított L70 (7k) (óra)	Jelenthető L70 (7k) (óra)	
1. sor	57 000	>39000	
2. sor	296 000	>39000	
3. sor	54 000	>39000	
5. sor	66 000	>39000	



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

LED élettartam jelölésrendszer

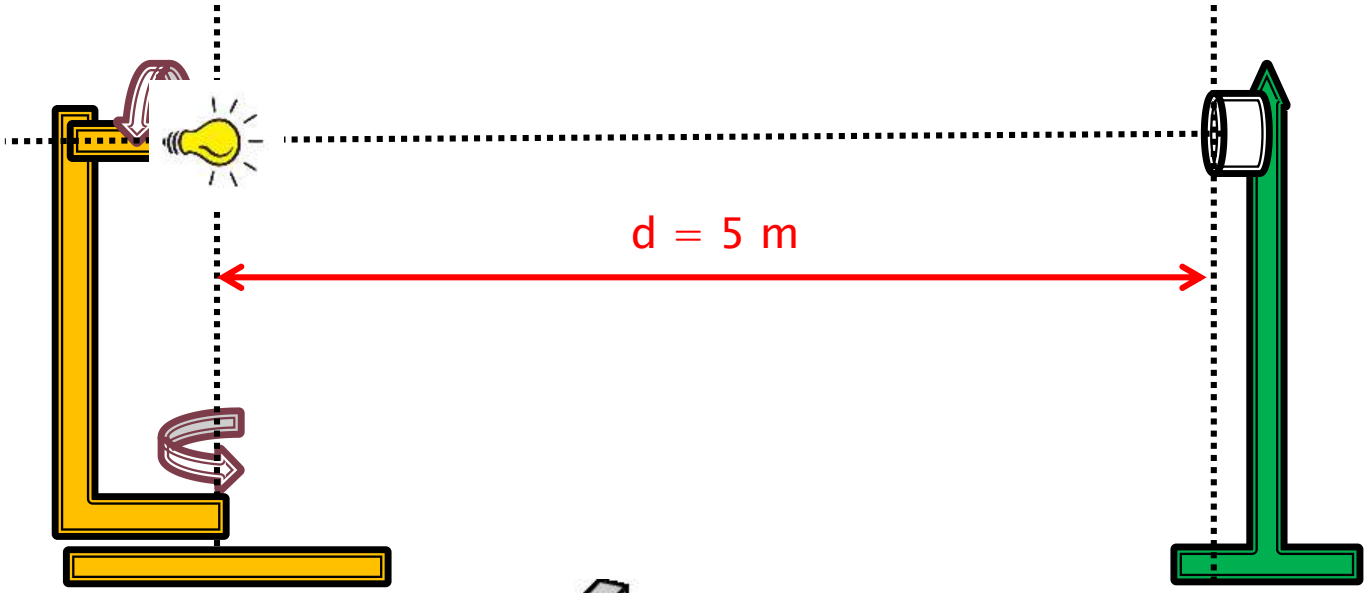


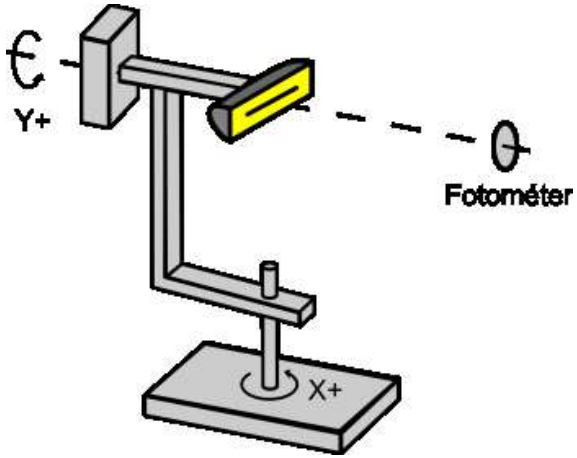
Figyeljünk, hogy a megadott érték milyen környezeti hőmérsékletre (ambient temperature) vonatkozik!

https://www.villanylap.hu/hirek/4413-hogyan-valasszunk-led-fenyforrast Nádas József

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

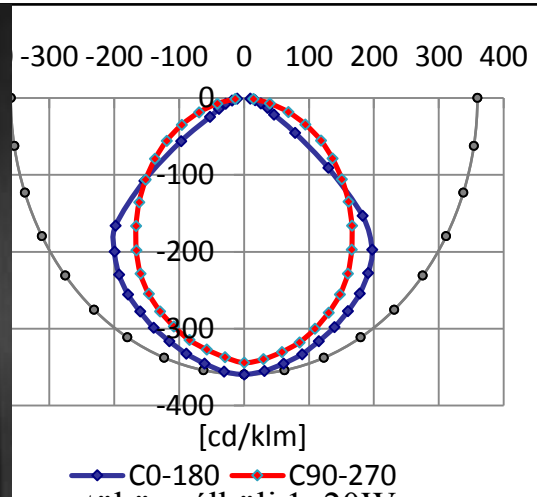
Goniofotométeres mérések



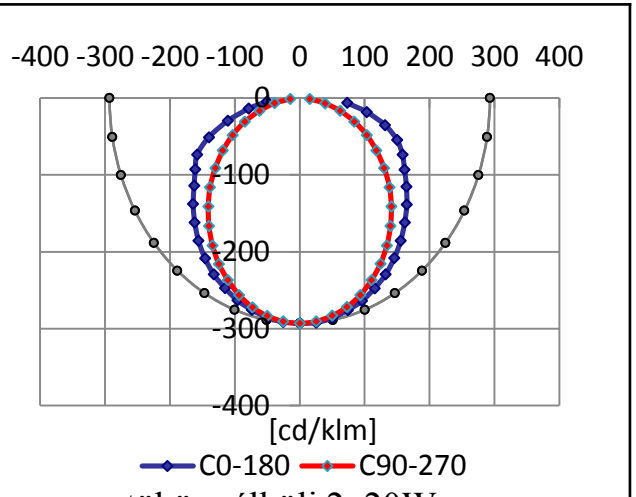


Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

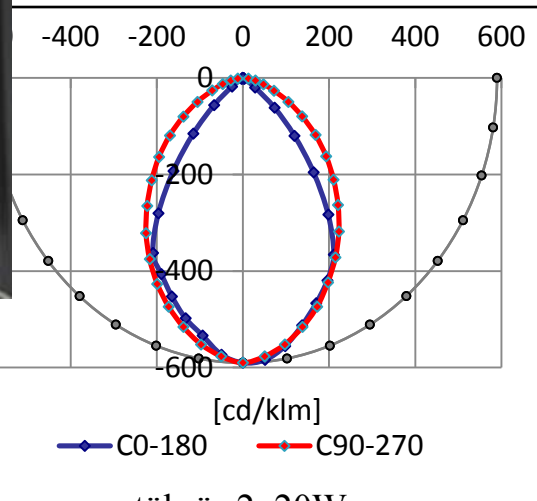
LED-csöves lámpatestek fényerősség-eloszlásának meghatározása goniofotometrálással



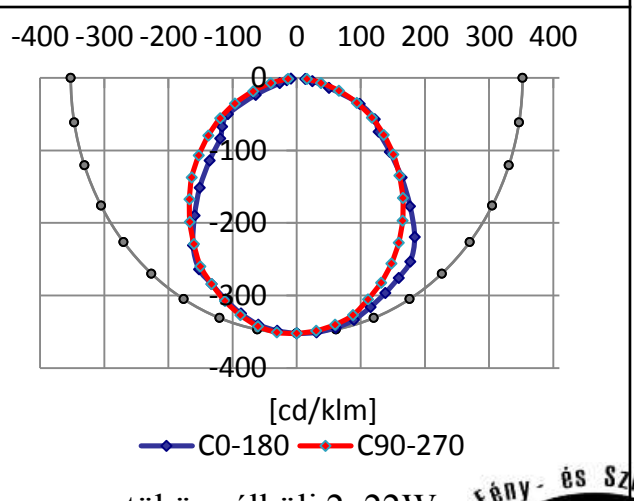
tükör nélküli 1x20W



tükör nélküli 2x20W



tükrös 2x20W



tükör nélküli 2x22W

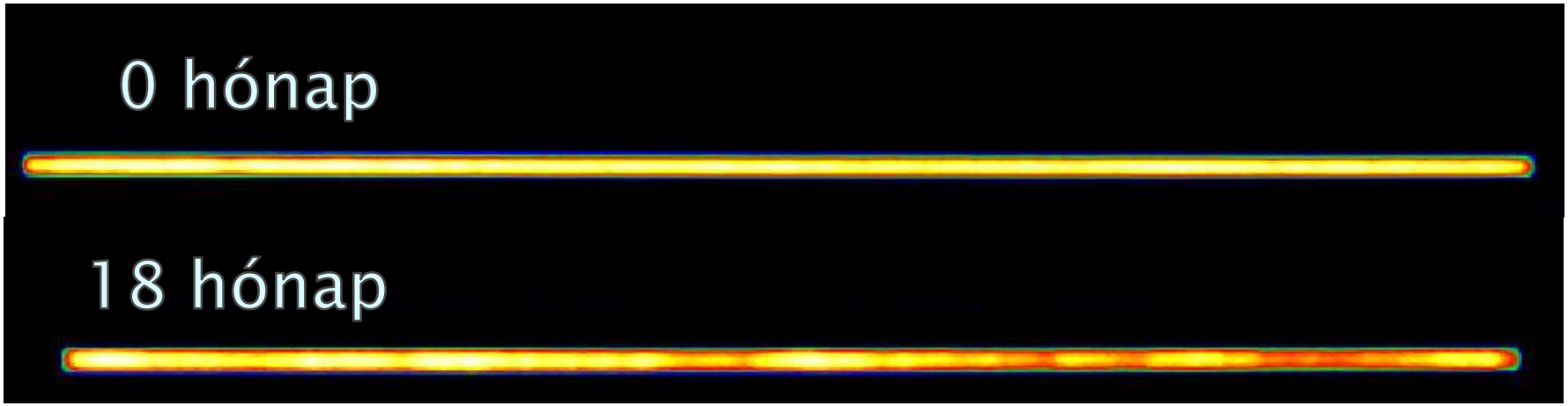
Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

LED-csövek gyakorlati problémái

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

LED-cső összfényáramának meghatározása goniofotometrálással

Noname gyártó	összfényáram 0 hónap	összfényáram 18 hónap	Változás [%]
Összfényáram [lm]	4754 lm	3383 lm	-1371 lm
Relatív fényáram [%]	100,0%	70,6%	-29,4%



TechnoTeam LMK-98-3 képi felbontású fénysűrűségmérővel mért egyenletesség

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

LED-cső fényáramának meghatározása goniofotometrálással

Márkás gyártó

Mérés	Összfényáram [lm]	Felvett teljesítmény [W]	Fényhasznosítás [lm/W]	CCT [K]
tükör-nélküli-1x20W-0h	1576,6	20,53	76,8	3993
tükör-nélküli-2x20W-0h	2851,8	39,65	71,9	3939
tükrös-2x20W-0h	2700,5	39,96	67,6	3967
tükrös-2x20W0-h	3308,7	44,58	74,2	4086
tükör-nélküli-1x20W_2880h	1574,7	19,67	80,1	3979
tükör-nélküli-2x20W_2880h	2820,4	38,95	72,4	3979
tükrös-2x20W_2880h	2664,1	39,09	68,2	3979
tükrös-tükörnélkül-2x20W_2880h	2602,7	39,09	66,6	3979

Mérés	0 óra [lm]	2880 óra [lm]	Változás
tükör-nélküli-1x20W	1576,6	1574,7	**-0,1%**
tükör-nélküli-2x20W	2851,8	2820,4	**-1,1%**
tükrös-2x20W	2700,5	2664,1	**-1,4%**

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Eddigiek összefoglalása

- LED-ek élettartama során változhatnak azok tulajdonságai!
  - összfényáram → fényhasznosítás
  - színképi teljesítményeloszlás → CCT és CRI is
  - nyitófeszültség csökkenhet → pl. 20 db sorba kapcsolt LED esetén ez jelentős feszültségesést is okozhat
- TM-21-11 alapján becsülhető a LED-ek élettartama chip-szinten, de az üzemi hőmérséklet jelentősen befolyásolhatja a gyakorlatban megvalósított rendszerben értendő élettartamot.
- „Retrofit” LED csövek esetében is érdemes a nevet megfizetni!
- Fénycsöves lámpatestek LED-esítésekor figyeljünk a sugárzási irányokra!

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

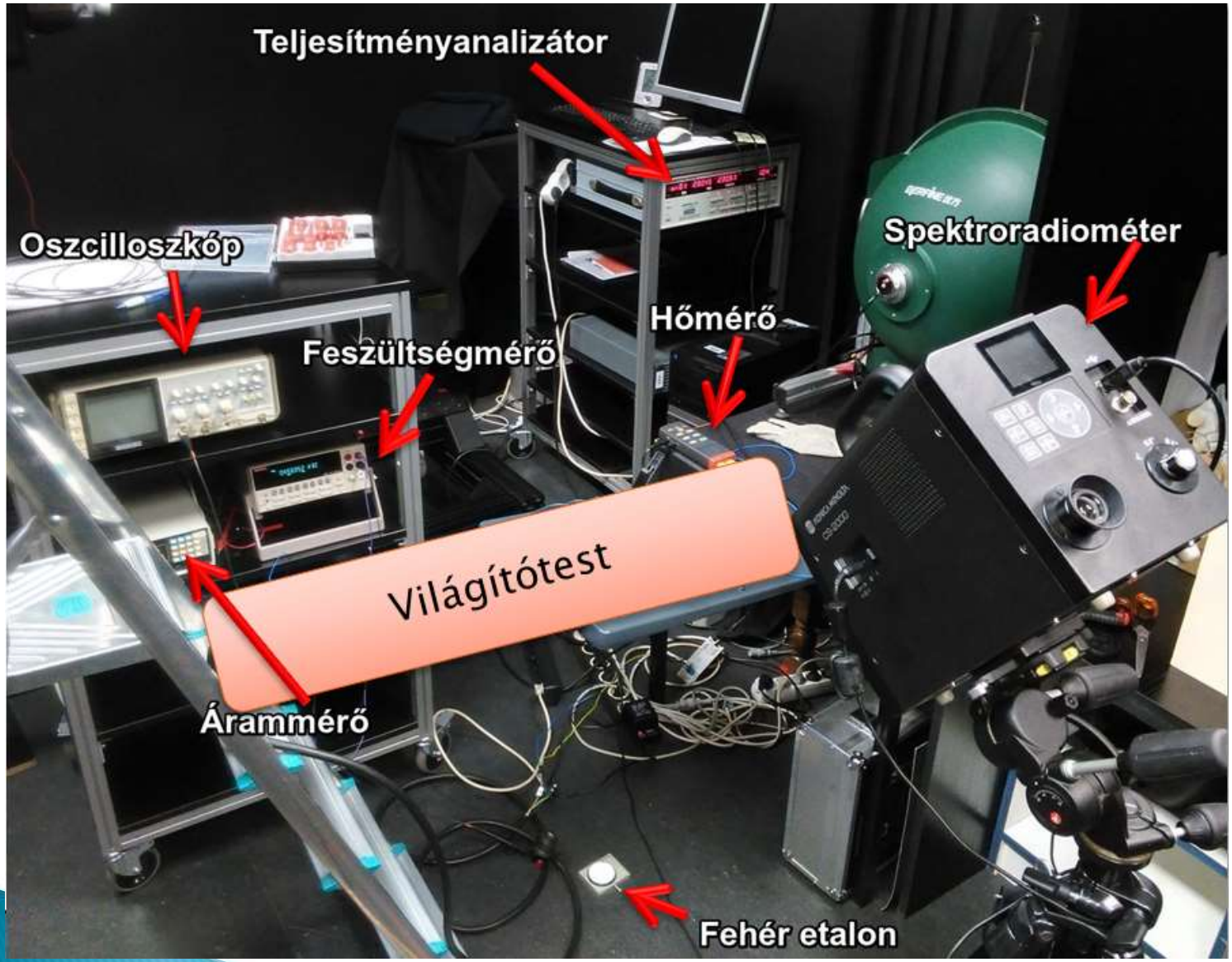
Közvilágítási világítótestek mérése

Tipikus mérési összeállítás

- Lámpatest felszerelése, pozicionálása, bekapcsolása,
- Fotometriai és színmetrikai paraméterek mérése 1 percenként, fénysűrűség, spektrum -> fényszín
- Elektromos paraméterek mérése
- Hőmérséklet mérése

Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

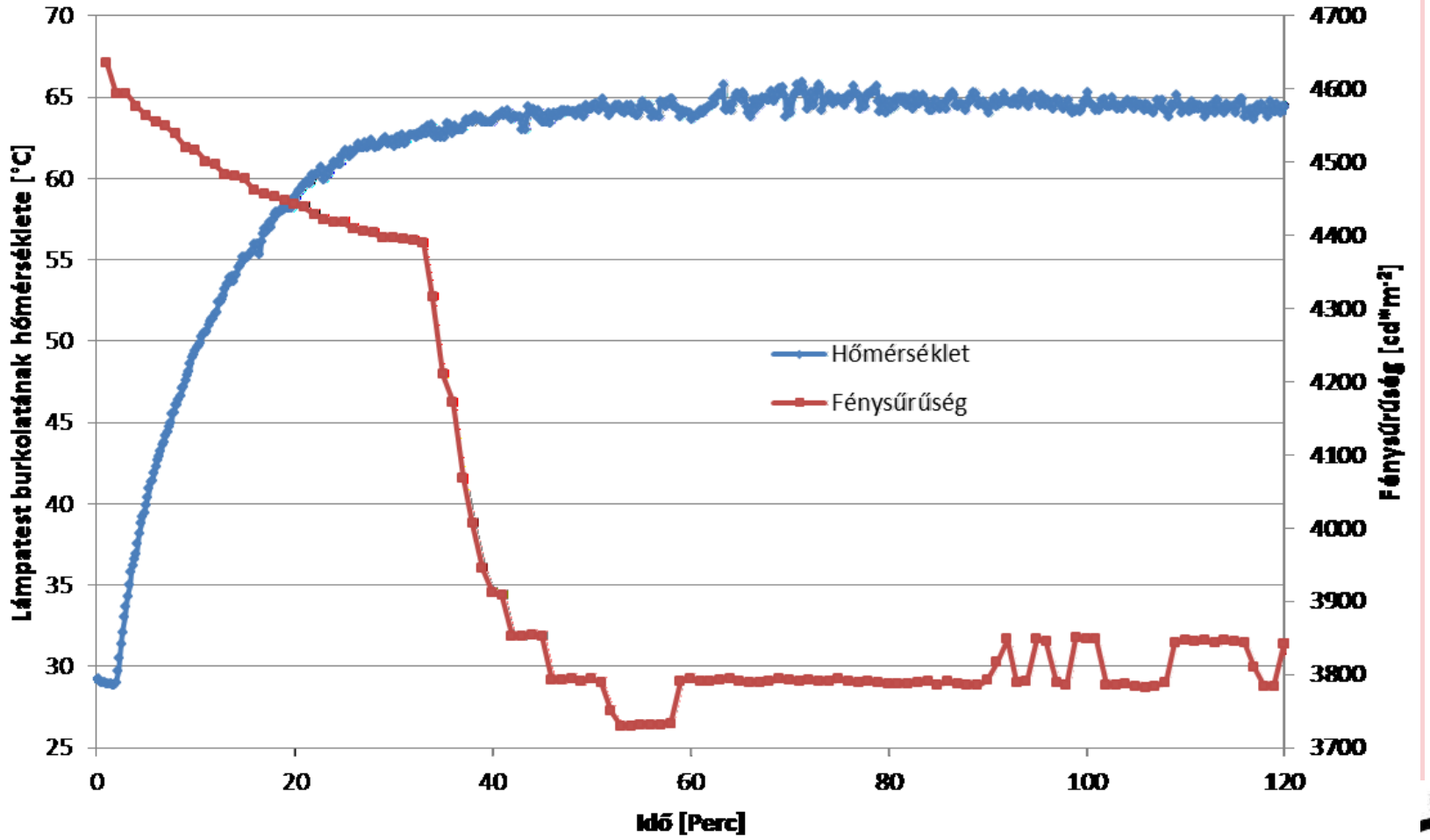
Mérési összeállítás



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

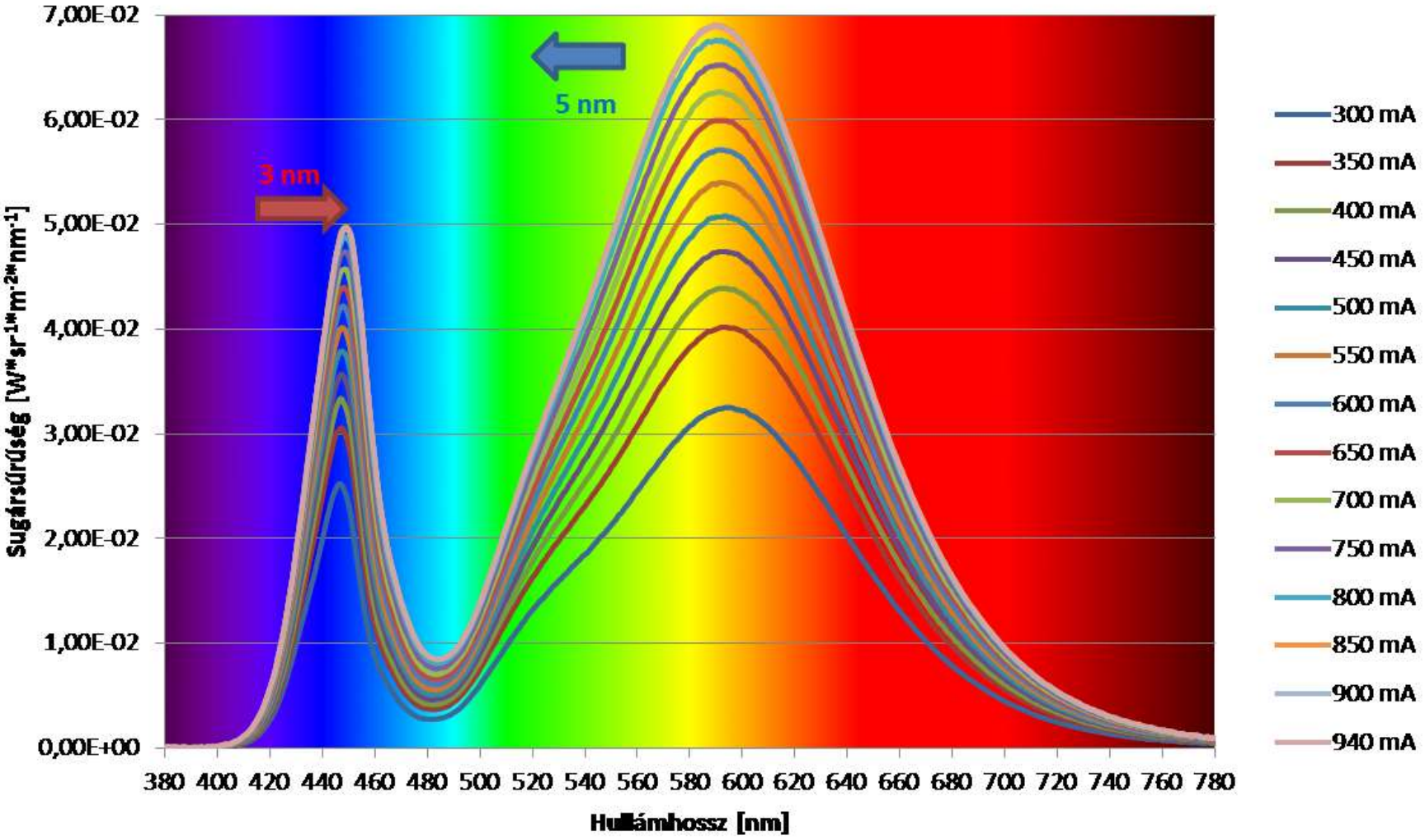
Beépített meglepetés

Világítótest összfényáramának alakulása a bekapcsolástól kezdve 120 percen keresztül



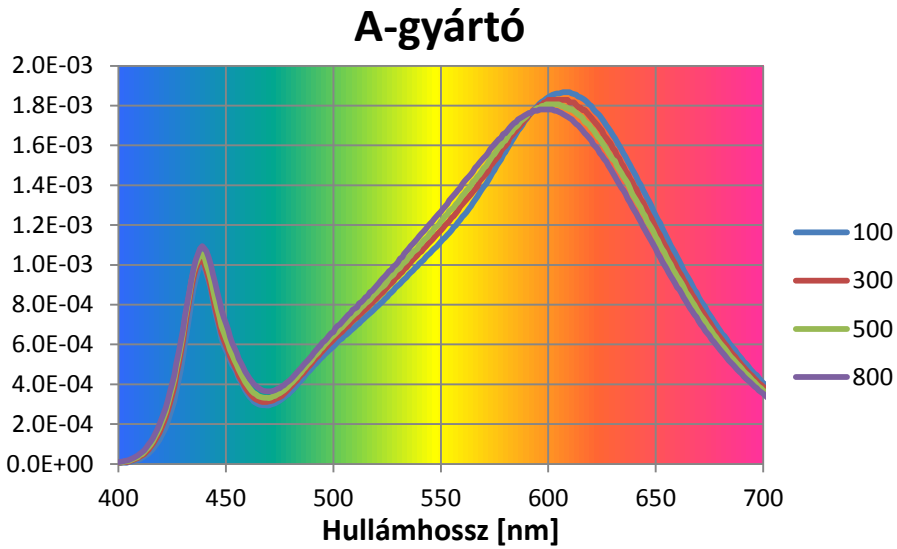
és Színtan Kutatólaboratórium

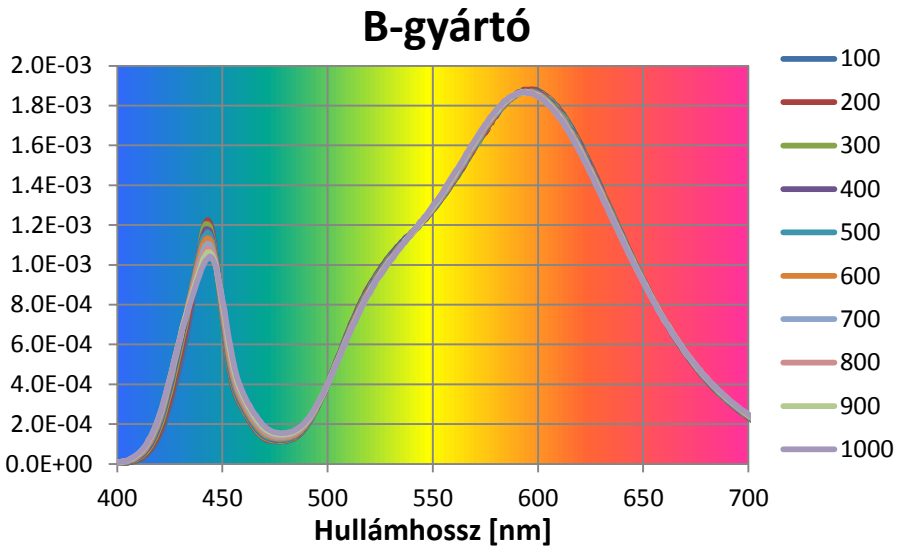
A spektrális teljesítményeloszlás változása

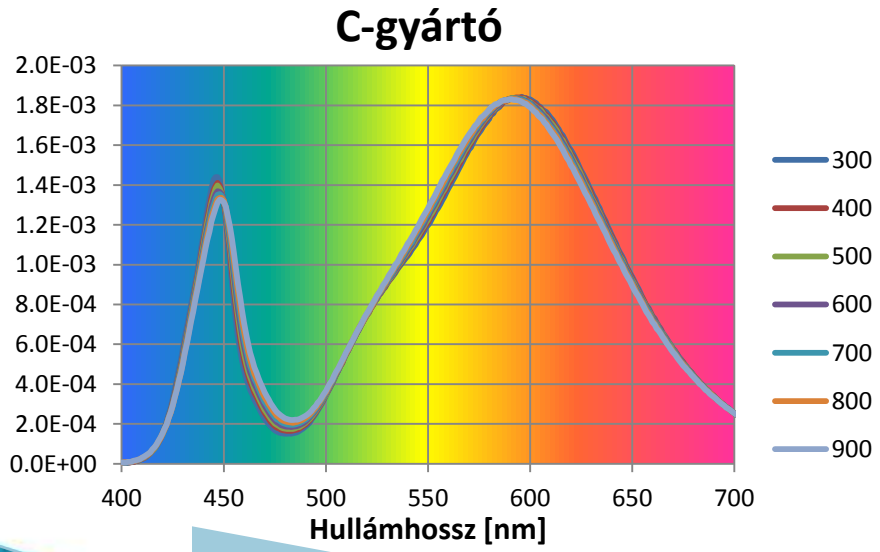


Kutatólaboratórium

A spektrális teljesítményeloszlás változása

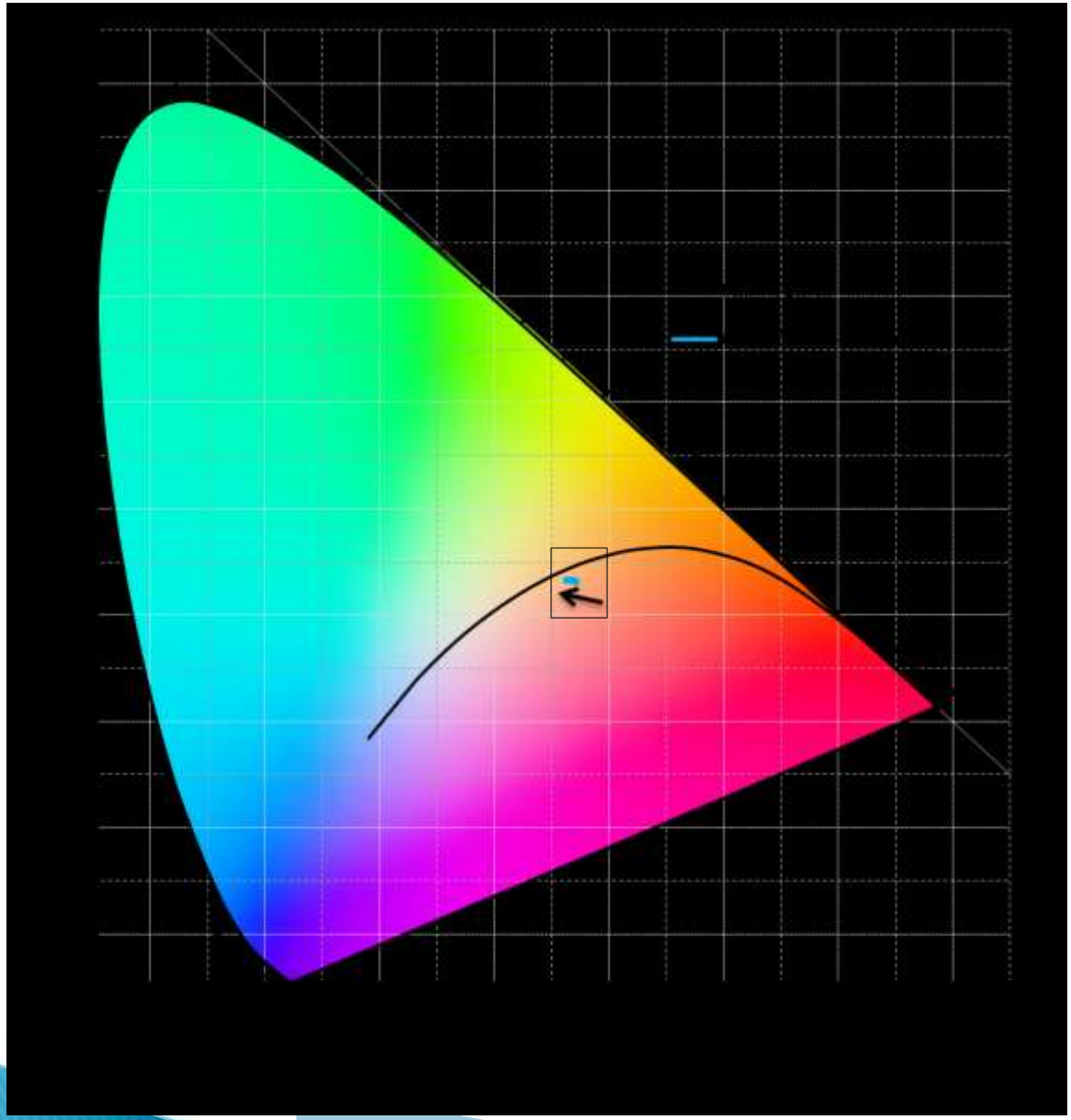






Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Színesség megváltozása



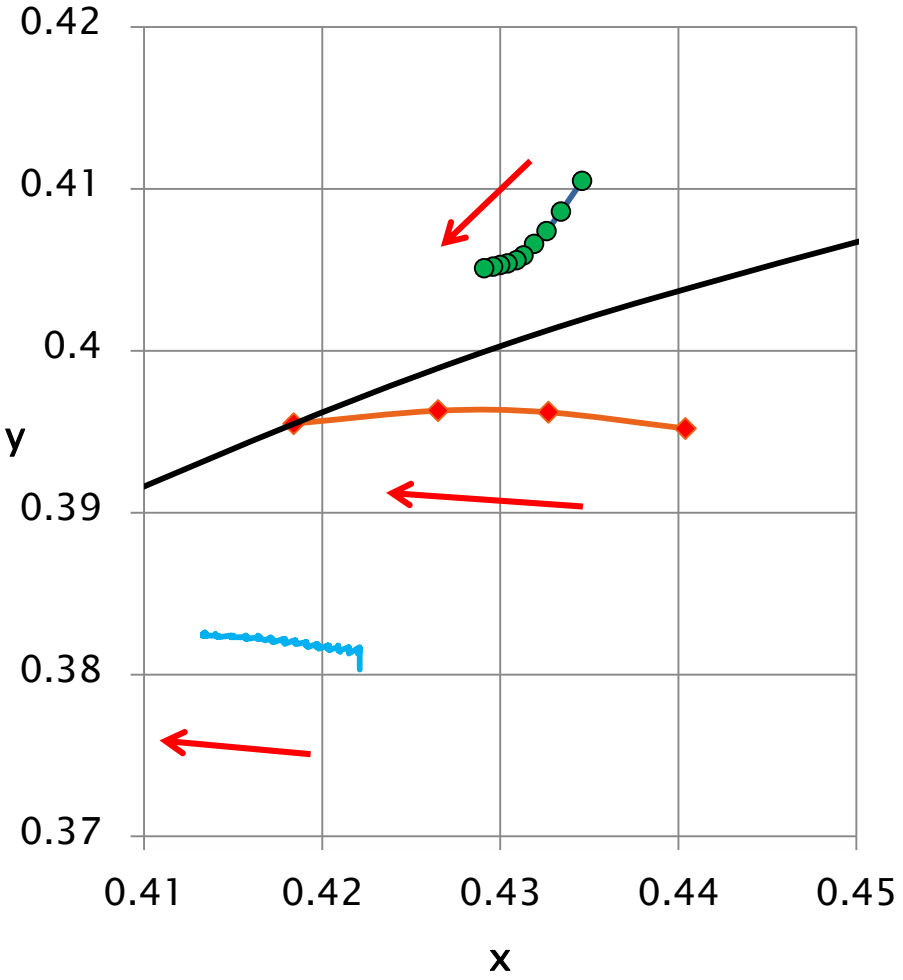
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Színmetrikai paraméterek változása

A-gyártó				
I [mA]	CCT [K]	D_{uv}	Ra	R9
100	2866	-0,0037	85	20
300	3005	-0,0025	84	16
500	3117	-0,0016	83	13
800	3264	-0,0006	81	8

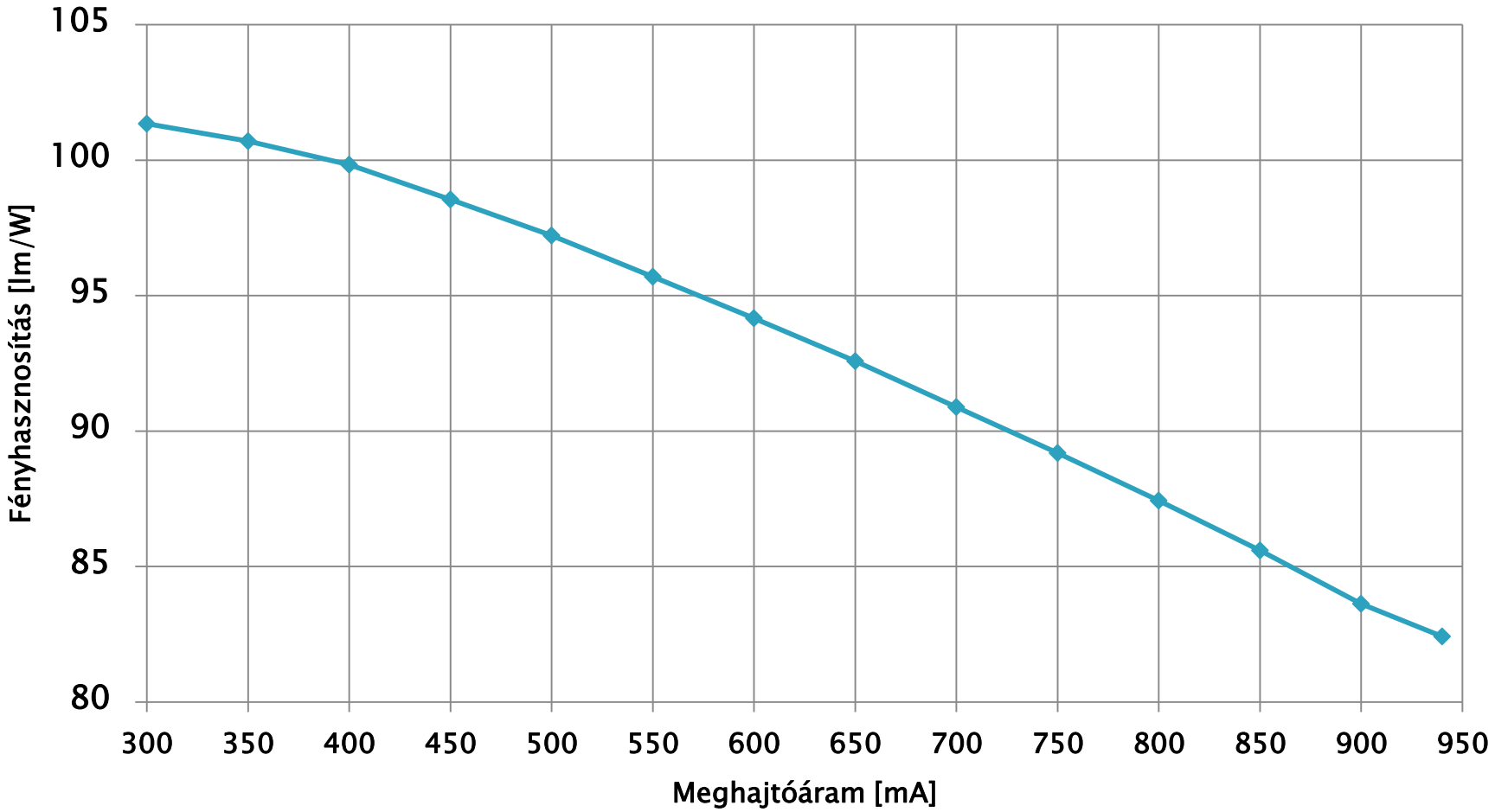
B-gyártó		
I [mA]	CCT [K]	d_{uv}
100	3093	0,0029
200	3097	0,0023
300	3102	0,002
400	3107	0,0018
500	3112	0,0016
600	3117	0,0015
700	3124	0,0015
800	3130	0,0015
900	3136	0,0015
1000	3144	0,0016

C-gyártó		
I [mA]	CCT [K]	d_{uv}
300	3062	-0,0074
400	3092	-0,0069
500	3117	-0,0066
600	3144	-0,0064
700	3173	-0,0061
800	3204	-0,0058
900	3239	-0,0055



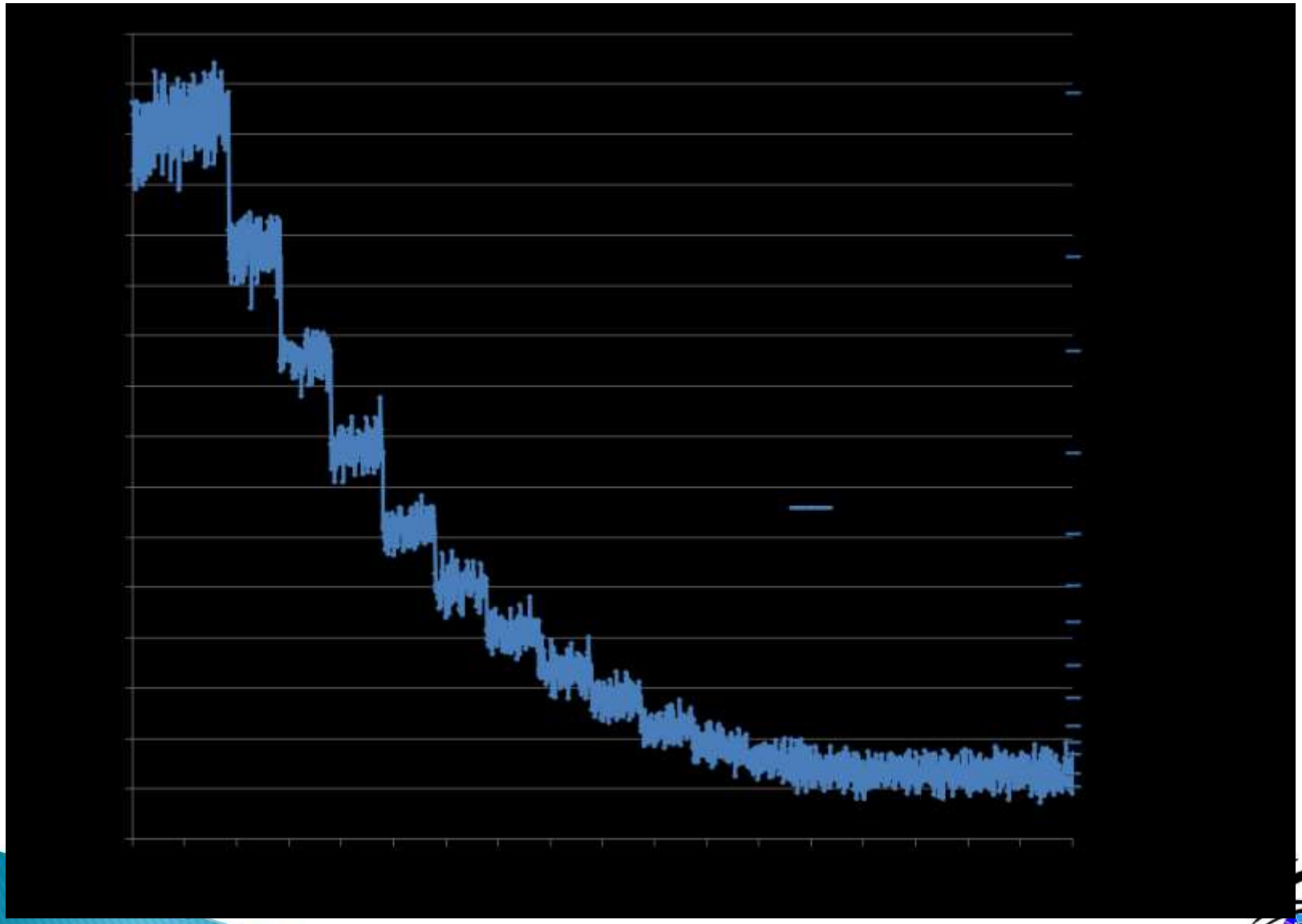
Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Fényhasznosítás változása



Fény- és Színtan
Kutatólaboratórium

Áramtorzítás változása THD-I



Kutatólaboratórium

Összefoglalás

- Közvilágítási világítótestek vizsgálata tartogathat meglepetéseket.
- A meghajtóáram értéke hatással van
  - a LED élettartamára (elektronikai komponensek?),
  - a színmetrikai tulajdonságokra (Ra, R9),
  - a fényhasznosításra!!!
- Lényeges a megfelelő teljesítményű meghajtóegység kiválasztása (THD-i értéke).

Fény- és Színtan Kutatólaboratórium

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!