

# Általános LED-es lámpatestek teljes hőtani karakterizációja forraszponti hőmérséklet mérésének alapján rendszerszintű modellezéshez

## Thermal characterization of general LED luminaires based on Solder point temperature measurement for System Modeling

*Dr. SAMU Krisztián, ZSELLÉR Viktor*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék  
H-1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6., +36 1 463 2602, www.mogi.bme.hu, samuk@mogi.bme.hu

### *Abstract*

*When designing an LED lighting product – let it be a simple desk lamp or a complex street lighting luminaire, there will be a lighting task to be satisfied. As these lighting scenarios usually have well documented lighting requirements for the given application, considerations are to be made to obtain a desirable system setup that is capable of providing the necessary light output while providing sufficient reliability and being at a market-acceptable price. One cardinal task in LED system modeling is establishing a transfer function between the input power and the Solder point temperature of the LED that is then an important parameter of the performance of any solid-state light source. This paper introduces a method for thermally characterizing a Luminaire for System modeling, based on discrete measurements of a prototype or evaluation of a CFD (Computational Fluid Dynamics) model.*

### *Összefoglaló*

*LED-es világítótestek fejlesztésekor – legyen az egy egyszerű asztali olvasólámpa vagy akár egy összetett közvilágítási lámpatest – minden esetben valamilyen megvilágítási feladat teljesítése a cél. Mivel szinte minden világítási elrendezésre léteznek jól definiált, szabványosított megvilágítási követelmények, a rendszertervezési feladat egy olyan összeállítás megtalálása, amellyel ezek a feltételek magas megbízhatóság mellett, kedvező áron teljesülhetnek. Ezen LED-es rendszerek modellezése során kiemelkedően fontos tényező a lámpatest hőtani átviteli függvényeinek meghatározása, mellyel megfelelő pontossággal megbecsülhető a félvezető fényforrások beforrasztási ponti hőmérséklete a betáplált teljesítmény függvényében, ami nagyban befolyásolja azok optikai teljesítményét. Ezen cikk célja egy olyan módszer bemutatása, amellyel prototípus vagy CFD modell alapján véges számú diszkrét méréssel megfelelő pontossággal karakterizálható egy lámpatest a rendszer-modellezéshez.*

Kulcsszavak: LED, CFD, Hőtani modellezés, Paraméter approximáció, Mechatronika

## **1. Bevezetés**

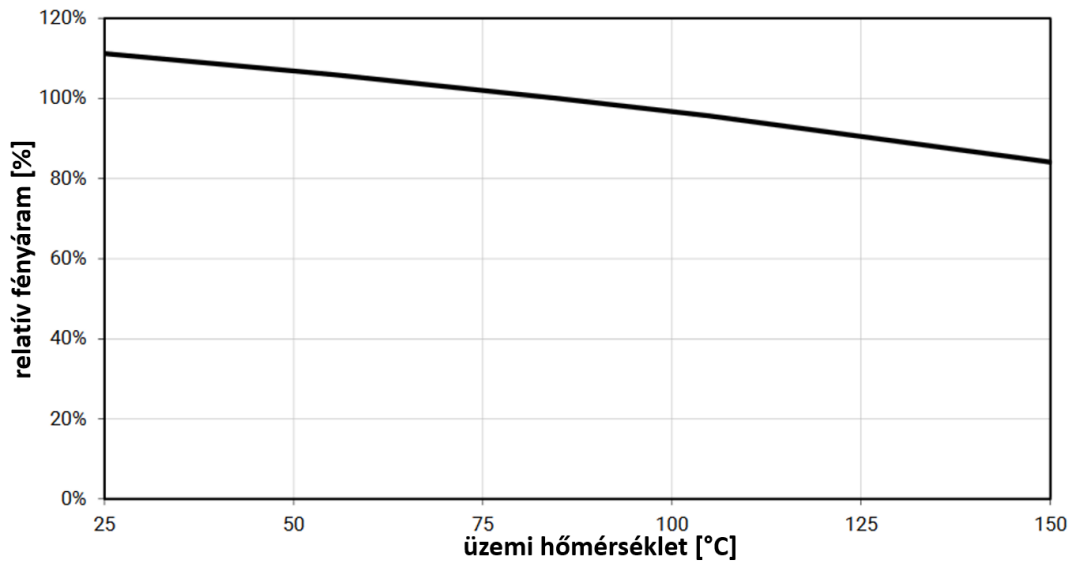
A LED-es technológia megjelenésével világítástechnikai alkalmazásokban lehetőség nyílt olyan, magas fényhasznosítású, hosszú élettartamú lámpatestek forgalomba hozatalára, amelyekkel a tradicionális fényforrásoknál magasabb minőségű és jobb megbízhatóságú megvilágítás biztosítható. Az új technológia bevezetése során piaci ellenszenvet – és ezáltal a korai modellek eladásainak éves növekedésének nem várt csökkenését - váltotta ki [5] az a sok termékre jellemző korai tönkremenetel, amelynek alapvető oka a nem megfelelő hőtani kialakításra vezethető vissza [2]. A mai modern tervezési koncepciókkal már a fejlesztés során méretezni lehet a hőelvezetést, hogy az adott élettartamra, jól megbecsülhető megbízhatósággal és fényhasznosítással üzemeljen. Ennek a tanulmánynak célja bemutatni

egy olyan módszert, mellyel megbízhatóan kiszámítható komplex rendszerek működés közbeni hőtani paraméterei. Emellett elvégezhetők CFD szimulációk későbbi mérések alapján.

## 2. A hőtani paraméterek hatásai a LED-es lámpatestekben

A fénykibocsátó diódákkal szerelt lámpatestekben a LED-ek hőmérséklete alapvetően két tulajdonságát befolyásolja a terméknek; a fényhasznosítását és a várható élettartamát.

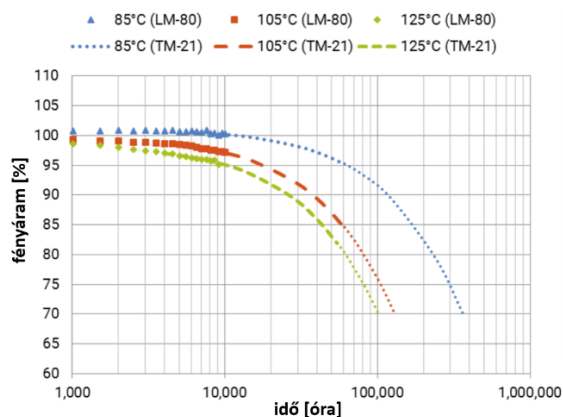
A fényhasznosítás jellemzi a kiadott optikai teljesítmény (fényáram, [lm]) és az ehhez szükséges betáplált villamos teljesítmény ([W]) arányát (fényhasznosítás, [lm/W]). Ez egy beruházás során talán a legfontosabb paraméter, mivel jellemzően az alacsonyabb villamos fogyasztásból származó megtérülés jelenti a magasabb befektetés megtérülését. A mai LED-es közvilágítási lámpatestek könnyedén elérhetik a 120 [lm/W]-os értéket, szemben a korábbi vezető technológiák alacsonyabb értékeivel (150 [W] HPS, 2000K: 60 [lm/W], 175 [W] fémhalogén, 4000K: 54 [lm/W]). Az 1. ábra [3] mutatja be egy mai, korszerű CREE XHP35 típusú LED relatív tipikus fényáramát annak félvezető hőmérsékletének függvényében, 350 [mA] állandó áramú meghajtás során.



1. ábra  
CREE XHP35 LED karakterisztika

Jól látható, hogy ugyanazon termék esetén a 85 [°C] válogatási (binelési) hőmérséklet alatt számolhatunk 10 százalékkal magasabb fényáram elérésével. Míg a túl magas hőmérsékletű dióda esetén - de még nem túllépve a megengedett legmagasabb értéket – a fényáram akár 15 százalékkal alacsonyabb is lehet az adatlapi ún. megadott binelési értéknél.

A „LED-esítés”, azaz LED-es termékek paramétereit a tradicionális fényforrásokkal összevetve és megtérülés alapján hozott döntések során talán még a fényhasznosításnál is fontosabb szempont a magasabb megbízhatóság és alacsonyabb karbantartási igény. Egyes termékek 16 000 óránál is magasabb élettartam után még a kezdeti fényáramuk 90%-a felett bocsájtanak ki fényt [1] – amennyi idő alatt egy tradicionális közvilágítási lámpatesten már statisztikailag kétszer is kellett volna lámpát cserélni [6]. A 2. ábra mutatja be a korábban hivatkozott CREE XHP35 LED fényáramtartását és annak extrapolációját 350 [mA] meghajtó áram mellett különböző hőmérsékleteken [4]. Ezen adatok csak informatív jellegűek, nem alkalmazhatóak marketing célokra.



2. ábra  
CREE XHP35 LED fényáramtartása

Ezen kívül megemlítendő, hogy a LED-ek hőmérséklete befolyásolja azok spektrális eloszlását, ezzel színpontját és szintani paramétereit is.

### 3. LED rendszer modell

A LED-es lámpatestek viselkedésének vizsgálata során egy olyan összetett modellt szokás használni, amelyben külön leíró átviteli függvényei vannak a fényforrásnak, a meghajtó elektronikának, a használt optikáknak és a lámpatest házának a hőtani viselkedésének [7]. A fényforrás modellezéséhez ismerni kell a karakterisztikáját a fényáramnak, a disszipált hőteljesítménynek és a feszültségnek a meghajtó áram és a forraszponti hőmérséklet függvényében. Ezeket általában olyan Ulbricht gömbi mérésekkel szokás meghatározni, amelyben a dióda hőmérséklete és árama kontrollálható és mindkét átviteli függvény nagyon pontosan modellezhető harmadfokú polinommal [2]. A 3. ábra egy ilyen mérőberendezést mutat be [6]. A villamos táplálás modellezésével ez a publikáció nem foglalkozik.

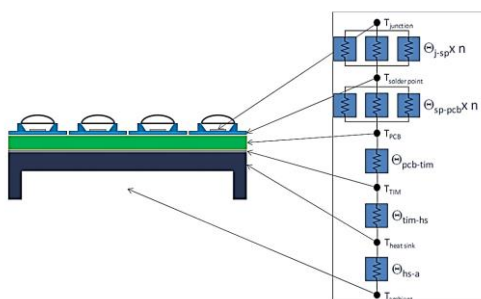


3. ábra  
LED-ek mérése modellezéshez

Amennyiben ismert a diódákon disszipált hőteljesítmény, ebből ekvivalens hálózati modellel számítható a hőáram a generátor (hőforrás) és a környezet ( $T_{Amb}$ ) között.

A 4. ábra [9] mutatja be az egyenértékű egyszerűsített modellt, ahol  $T_n$  az adott pontban vett hőmérséklet és  $\Theta_{a-b}$  a hőellenállás két pont között. Az egyes pontok közötti hőmérséklet különbség az 1. egyenlet alapján csomóponti elven számítható:

$$\Theta_{a-b} P_t = T_a - T_b \quad (1)$$



4. ábra  
LED-es rendszerek hőtani ekvivalens modellje

## 4. A hő elvezetése a rendszerben – stacioner hőtani állapot

Mivel a fenti modellben a LED-ek forraszponti hőmérséklete nem ismert, csupán az adott teljesítményen és hőmérsékleten leadott  $q_t$  hőáram, ezért a stacioner állapot iterációval közelíthető. A rendszerparaméterek számításának a lépései sorrendben:

- a) Villamos paraméterek meghatározása a meghajtó elektronikára, mellyel meg tudhatjuk a tényleges meghajtó áramot
- b) Hőtani iterációs eljárás, amellyel adott pontossággal közelíthetjük a LED-ek forraszponti hőmérsékletét
- c) A meghajtó elektronika villamos paraméterei a közelített LED hőmérséklet és a meghajtóáram alapján
- d) A fényforrás világítástechnikai modelljének számítása annak hőmérséklete és meghajtóárama alapján

A LED hőmérsékletének iteratív közelítése egy feltételezett hőmérséklettel való számítással indul. Ez lehet egy fix érték vagy gyorsabban vezethet eredményhez egy a teljesítmény alapján feltételezett tapasztalati érték. Ezzel számítva a 3. részben bemutatott modellt, ismert hőellenállásokkal és környezeti hőmérséklettel, egy olyan virtuális állapot jön létre, aminek peremfeltételei nem teljesülnek, azaz a rendszer még nem lesz statikus és ismertté válik, hogy a hőáram a környezet felé ebben a munkapontban még növekszik (a feltételezett hőmérséklet érték alacsonyabb az állandósult állapotnál) vagy csökken (a feltételezett érték magasabb). Ezek után az iteráció következő lépésében alacsonyabb vagy magasabb értékkel kell újra számolni a rendszert, ameddig a hőáram változás elhanyagolhatóra nem csökken. A gyakorlatban egy egyszerű PD típusú szabályzó alkalmazása vezet leggyorsabban eredményre.

## 5. Az egyes részelemek hőellenállási értékének iteratív meghatározása

Egy új lámpatest fejlesztése során illetve egy meglévő ház új rendszerre alakításakor a főbb elemek hőtani modelljei közül egyedül a ház hőellenállása nem ismert. Széles irodalom foglalkozik – illetve újabban adatlapokban szerepeltetett értékek a hőellenállások a LED és a NYÁK között, a NYÁK és egy megmunkált alumínium hővezető között és így tovább.

A ház hőellenállásának meghatározásához érdemes CFD modelleket fejleszteni és meghatározni adott betáplált teljesítményre adott állandósult állapotát. Ez prototípus esetén mérhető a NYÁK hőátadó felületének és a környezet hőmérsékletének különbségéből. A ház dinamikus hőellenállás-modellje megfelelően karakterizálható egy lineáris polinommal a hőáram függvényében.

Ennek a modellnek a meghatározásához a mért értékek alapján ismét egy iteratív eljárást érdemes alkalmazni, amelyben minden mért ponthoz a 4. részben bemutatott módszerrel kiszámítandó a várt hőmérséklet érték. Ezzel minden méréshez rendelhető egy hiba, amelyet legkisebb négyzetek módszerével lehet minimalizálni a két változóra.

Tapasztalataink szerint ezzel a módszerrel 3 mérési ponttól már 4 [°C]-on belül tartható a LED beforrasztási ponti hőmérsékletének számítása, valós lámpatestek esetén, 4 mérés alapján ez tovább csökkenthető.

### Irodalmi hivatkozások

- [1] Bin-Juine Huang, Chun-Wen Tang, Min-Sheng Wu: System dynamics model of high-power LED luminaire. Applied Thermal Engineering 29(4), pp. 609-616, 2009.
- [2] Clemens J.M. Lasance, András Poppe: Thermal Management for LED Applications. Springer Science & Business Media, ISBN: 9781461450917, 2013.
- [3] Cree XHP35 adatlap, CLD-DS130 REV 1E, <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-XHP35.pdf>, 2017.
- [4] Cree XLamp XHP35 white, long term testing summary, <https://www.ledsupply.co>, Mar 15, 2017.
- [5] <http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf>, 2016.
- [6] <https://www.mentor.com/products/mechanical/micred/teraled/>, 2017.
- [7] LED Luminaire lifetime: Recommendations for Testing and Reporting, Next Generation Lighting Industry Alliance with the U. S. Department of Energy, 2011.
- [8] M.A. Co, C.Z. Resende, D.S.L. Simonetti, J.L.F. Vieira, P.C.A. Almeida: Microcontrolled electronic gear for low wattage metal halide (MH) and high-pressure sodium (HPS) lamps. Industry. Applications Conference, 37th IAS Annual Meeting, 18 Oct. 2002.
- [9] Moon-Hwan Chang, Diganta Das, P.V. Varde, Michael Pecht: Light emitting diodes reliability review. Microelectronics Reliability, Vol 52, pp. 762-782, 2012.