

Modern LED-es közvilágítási lámpatest kiterjedt lencsés leképező optikájának mechanikai integrációja

System level integration of a complex lens array in a modern LED roadway lighting luminaire

Dr. SAMU Krisztián¹, ZSELLÉR Viktor^{1,2}

1) BME MOGI Tanszék, 1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6., zseller@mogi.bme.hu, +36 (1) 463-2602

2) GE HUNGARY Zrt., 1044 Budapest, Váci út 77., viktor.zseller@ge.com, +36 (1) 231-5530

Abstract

Due to the rapid development in the solid state lighting technology, both for the better lighting performance and the advantage in upkeep, changing the existing conventional installations to LED technology is often considerable in the modern roadway lighting practice. By these retrofit solutions the sales volume is usually high for lower NRI and variable costs and thus the investments are generally price sensitive. As the global market price of the Aluminum tends to increase, while the cost of the task efficient luminous power became very desirable with Light Emitting Diode; a high level of integration and compactness is demanded by such luminaire designs. The purpose of this paper is to introduce the mechanical challenges faced by designing a low cost lens array.

Összefoglaló

A félvezető fényforrások rohamos fejlődése eredményeképpen manapság a magasabb világítástechnikai minőségi képességeken túl az igen kedvező fenntartási költségek- és ezáltal a gyorsan realizálódó megtérülés miatt is érdemes megfontolni a már korábban kiépített tradicionális közvilágítási installációk cseréjét LED-es lámpatestekre. Az ilyen retrofit telepítések egyre gyakrabban nagyon magas volument jelentenek így a beruházások többsége ár érzékeny. Az alumínium világpiaci árának fokozatos emelkedése és a fénykibocsájtó diódával történő egységnyi irányított fényerősség költségének rohamos csökkenése miatt érdemes kompakt, magas fokon integrált terméket fejleszteni. A cikk célja egy költséghatékony közvilágítási optikai leképező rendszer mechanikai illesztési kihívásainak bemutatása.

Kulcsszavak

LED, Közvilágítás, Optika, Hőtágulás, Alakváltozás

1. BEVEZETÉS

Általános követelmény a félvezető fényforrásokat alkalmazó lámpatestekkel szemben, hogy azok teste öntészeti alumíniumból készüljön a kültéri alkalmazások sokszínű roncsoló hatásaival való megfelelő ellenállóság biztosítása érdekében. Mivel az elérhető fénykibocsájtó diódák ideális működési tartományukban a teljesítményük nagyjából felét termikusan disszipálják, érdemes a p-n átmenet és a környezet közötti hőellenállást minimalizálni, megtalálva az optimumot a keletkező hőáram elvezetésére. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a LED beforrasztása és a környezet között éppen annyi anyagmennyiség van szükség, ami a hőleadó felületen viszonylag homogén hőmérsékletet eredményez, melynek kiterjedése akkora kell, hogy legyen, amellyel a legnagyobb engedélyezett

környezeti hőmérséklet mellett sem lépi át a forraszponti hőmérséklet azt az értéket, amely mellett előírt fényáramtartás érhető el.

A félvezető diódák általában nyomtatott huzalozású áramköri lapra vannak szerelve, ez alól egyedül az igen ritka CoB (*Chip on Board*) megoldások képezhetnek kivételt. A nyomtatott áramkör (NYÁK) hordozója közvilágítási lámpatestek esetében teljesítmény LEDeket alkalmazva legtöbbször alumínium. Az ilyen kialakítást IMS-nek (*Insulated Metal Substrate, Szigetelt fém hordozó*) nevezzük és hordozónak rendszerint 5052-es vagy 6061-es alumínium lemez használatos, melyen az általában 10 [Oz]-os rézréteget szigetelőréteg választja el. Amennyiben az áramkörön mérhető legnagyobb feszültség és az előírt villamos szigetelési szabvány ezt indokolja, a LED-board és a ház között megerősített villamos szigetelés alkalmazandó.

Közepes teljesítményű fénykibocsájtó diódákat alkalmazva lehetőség nyílik FR4-es alapú nyomtatott huzalozású áramkör használatára. Ezen cikk egy ilyen megoldás vizsgálatára koncentrálna.

Az integrált optikai rendszer utolsó egysége a leképező lencserendszer törő- és/vagy TIR (*Total Internal Reflection, Teljes belső visszaverődés*) tagja. Ennek anyaga a gyakorlatban legtöbbször PC (polikarbonát), de egyes esetekben használatos PMMA kedvező mechanikai tulajdonságai miatt, illetve Szilikon, melynek nagyon magas optikai megbízhatósága és sárgulással szemben tanúsított ellenállása eseteként a magas költsége ellenére is indokoltá teszi használatát.

2. AZ EGYES KOMPONENSEK KOMPATIBILITÁSA

A termék mechanikai robusztusságának vizsgálata során fontos szem előtt tartani, hogy a lámpatestnek a teljes megengedett működési tartományon képesnek kell lennie teljesíteni minden előírt alkalmazási követelményt, beleértve az installációra vonatkozó világítástechnikai szabványokat is. Az általános üzemeltetési környezeti hőmérsékleti tartomány (T_A) kültéri lámpatestek esetében az EMEA régióban:

$$-40 [^{\circ}\text{C}] < T_A < 50 [^{\circ}\text{C}]$$

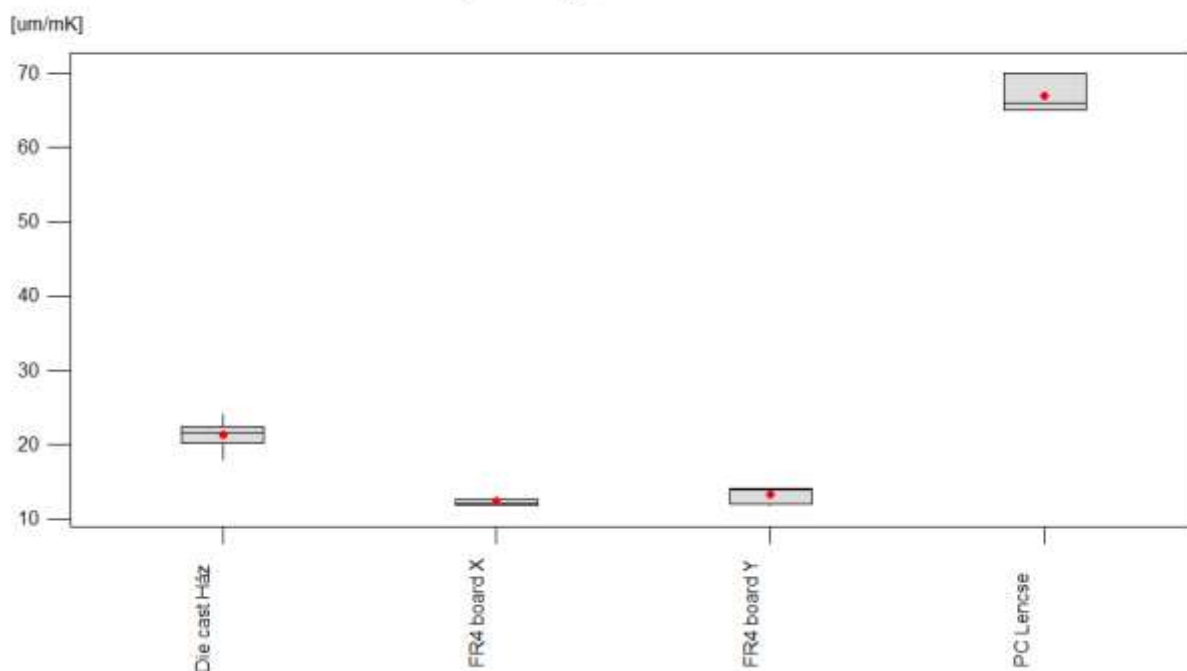
Általánosan alkalmazható közelítés a termikus rendszer vizsgálata szempontjából, hogy az egyes komponensek hőmérséklete offszet-szerűen lineárisan változik a környezeti hőmérséklet függvényében. Ha tehát egy lámpatest katalógus adatai $T_{A0} = 25 [^{\circ}\text{C}]$ hőmérsékletre vonatkoznak, akkor $T_{A1} = 50 [^{\circ}\text{C}]$ hőmérséklet mellett az egyes komponensek T_C hőmérséklete a nominális és a tényleges környezeti hőmérsékletek különbségével emelkedik:

$$T_{C1} = T_{C0} + (T_{A1} - T_{A0}) \quad (1)$$

Ezek alapján a LEDeket tartalmazó nyomtatott huzalozású áramkör és a leképező optikák relatív helyzete kikapcsolt állapottól a bemelegedésig a különböző környezeti körülményeket tekintve nagymértékben változhat. Ennek eredménye, hogy a lámpatest által nyújtott fényeloszlás refraktív lencsés megoldások esetében szintén torzulhat a nominálistól eltérő környezeti hőmérsékletek esetében, amely jelenség könnyen a világítástechnikai követelményeket leíró paraméterek kedvezőtlen megváltoztatását eredményezhetik.

Az 1. diagram a bemutatott három komponens egy tengelyre vonatkozó hőtágulási együtthatóit mutatja be. A részletes vizsgálat során hat féle öntészeti Alumínium, hat féle FR4-es típusú nyomtatott huzalozású áramköri hordozó és három különböző optikai minőségű polikarbonát lett összehasonlítva. A LED-board esetében fontos volt megkülönböztetni a két fő tengely-irányú hőtágulást, mivel azok minden gyártmány esetében eltérőek voltak a szálerősítések miatt.

Lineáris hőtágulási együtthatók összehasonlítása



1. diagram - Az egyes komponensek lineáris hőtágulási együtthatói

Az 1. diagram tanulsága szerint a lámpatest házának és a nyomtatott áramköri lapkának a hőtágulása nagyjából megegyezik és a működési tartomány szélső értékeinél az alkatrészek között kialakuló feszültség minimális. (A vizsgált részek hőmérséklete nem egyezik meg a környezeti hőmérséklettel, jellemzően a fényforrás beforrasztásánál $T_A = 25$ [°C] mellett, teljesítménytől függően 60..90 [°C] is előfordulhat, ami így a teljes megengedett működési tartományon akár 10..105 [°C] között is változhat!)

A műanyag lencsét tartalmazó tömb alkatrész ezzel szemben a definiált széles tartomány esetében jelentősen elmozdulhat a fényforrásokhoz képest. Példaként egy 4 x 4 lencsét tartalmazó hordozó, melynek teljes befoglaló szélessége a megfelelő optikai hatásfok biztosítása érdekében 90 [mm], a szélső leképező optika esetében a belső optikai üreg-kialakítás szélességének 60-65%-ával elmozdulhat. Ez a fényeloszlás durva megváltozásán túl extrém esetekben a félvezető fényforrás beforrasztását is tönkre teheti, szakadást okozva az áramkörön.

3. ÁLTALÁNOS VILÁGÍTÁSTECHNIKAI KÖVETELMÉNYEK

3.1 Átlagos megvilágítás, Átlagos fényesség

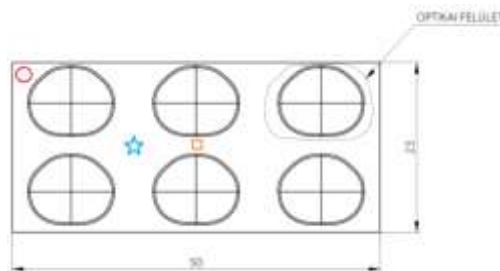
Valamely helyiségben vagy valamely tevékenység célját szolgáló térrész kijelölt felületének meghatározott helyein értelmezett megvilágítási értékek átlaga. [1] Valamely felületen (pl. útburkolat) értelmezett, a megfigyelő által tapasztalható fényességek átlaga a definiált megfigyelési pontokban.

3.2 Küszöbérték-növekmény (TI, Threshold Increment)

Ezt a paramétert szokás *káprázási indexnek* is nevezni. Célja kvantitatívan kifejezni (%-os mértékegységben) egy adott installációra vonatkoztatva a lámpatestek által okozott zavaró káprázás mértékét. [2]

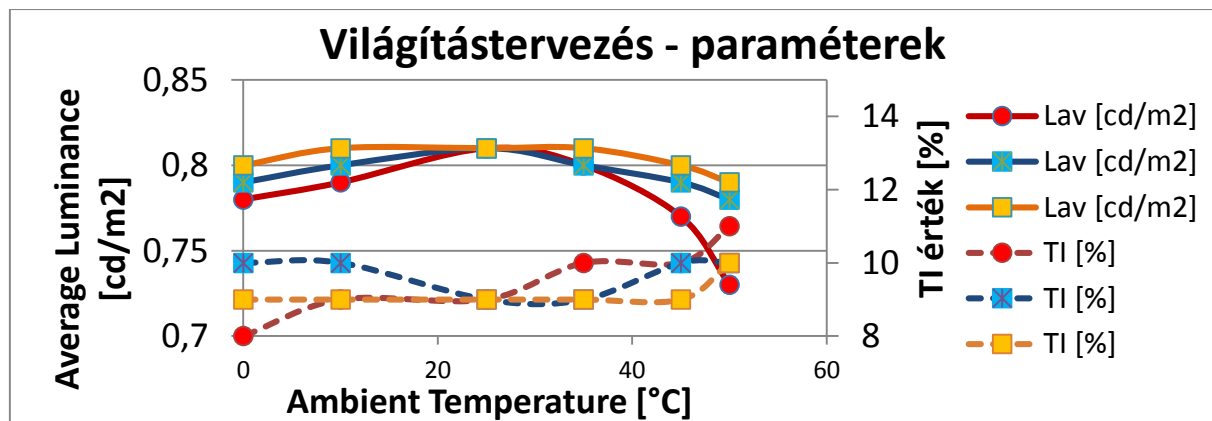
4. A VILÁGÍTÁSTECHNIKAI PARAMÉTEREK SZÁMÍTOTT EREDMÉNYEI KÜLÖNBÖZŐ MECHANIKAI RÖGZÍTÉSEK ESETÉN

A hőtágulásból eredő fényeloszlás megváltozását három különböző esetben vizsgáltuk. Mivel az optikákat tartalmazó tömb hordozóját a kritikus mechanikai feszültségek kialakulásának elkerülése érdekében csupán egy pontban lehetséges olyan módon rögzíteni, ami az adott helyen minden translációs szabadsági fokot megszüntet, ennek megválasztása kardinális jelentőséggel bír. [3] Az 1. ábrán a három jelölés (piros kör, kék csillag és sárga négyzet) a három vizsgált merev rögzítési pont helyét ábrázolja.



1. ábra - A vizsgált merev rögzítések pozíciója

Az 2. diagram az 1. ábrán bemutatott három különböző rögzítési pont esetében mutatja be a világítástechnikai paraméterek változását a környezeti hőmérséklet függvényében a bemutatott szín- és alakzatkódok szerint. Megfigyelhető, hogy a tömb szélén alkalmazott rögzítés esetében változik a legnagyobb mértékben a lámpatest optikai teljesítménye, míg középpontos rögzítés esetében a legkevésbé. A fényeloszlások változásának részletes kiértékelésére optikai sugárkövetéses módszer alkalmazására volt szükség. [4,5]



2. diagram - A világítástechnikai paraméterek változása a vizsgált rögzítési pontok esetén

Irodalom:

- [1] <http://vilagitas.org/lexikon/> Hivatkozva: 2015.02.09.
- [2] Duco Schreuder – Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception, 2010 Springer Science, ISBN: 978-90-481-7930-5.
- [3] Kohei Narisada, Duco Schreuder – Light Pollution Handbook, 2004 Springer Science, ISBN: 978-1-4020-2666-9 (e-Book).
- [4] NÉMETH Z, NAGY B V, ÁBRAHÁM Gy, VERES A, SAMU K - HOW TO CHOOSE SIMULATION PARAMETERS TO IMPROVE ACCURACY?, Proceedings of CIE Centenary Conference: Towards a New Century of Light. Konferencia helye, ideje: Paris, Franciaország, 2013.04.15-2013.04.16.
- [5] Németh Zoltán, Veres Ádám, Ábrahám György, Samu Krisztián - Development of outdoor luminary using SPEOS software, LUMEN V4 IV. Lighting Conference of the Visegrad Countries. Konferencia helye, ideje: Bratislava, Szlovákia, 2012.09.26-2012.09.28.