

Közepes teljesítményű LED-es fényforrást alkalmazó közvilágítási leképező optikák színszétválasztása

Color separation in Outdoor roadway lighting luminaires light engine utilizing Mid-Power LEDs

Dr. SAMU Krisztián¹, ZSELLÉR Viktor²

1 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - samuk@mogi.bme.hu,

2 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – zsellerviktor@mogi.bme.hu

Abstract

The purpose of this paper is to introduce the color separation caused by the spatially inhomogeneous luminous intensity output in terms of color point of a domeless Mid-Power light emitting diode used in a roadway lighting luminaire for high efficacy at a favorable material cost. The extensive improvement observable in the performance as well as in reliability of low cost LEDs below the 1 [W] drive power range enables the market introduction of lighting fixtures utilizing such diodes with a fast return on investment both for new installations and for substitutions over existing solutions. The point-like LED light sources combined with suitable optics are capable of meeting the governed lighting requirements of a roadway application with high utilization factor, by reducing light pollution and providing outstanding task efficiency. In order to reduce the material cost of a product, Mid-Power LEDs can be used with appropriate optics, though in such designs the light source has to be modelled as a surface source with a complex characterization of its spatial light distribution.

Összefoglaló

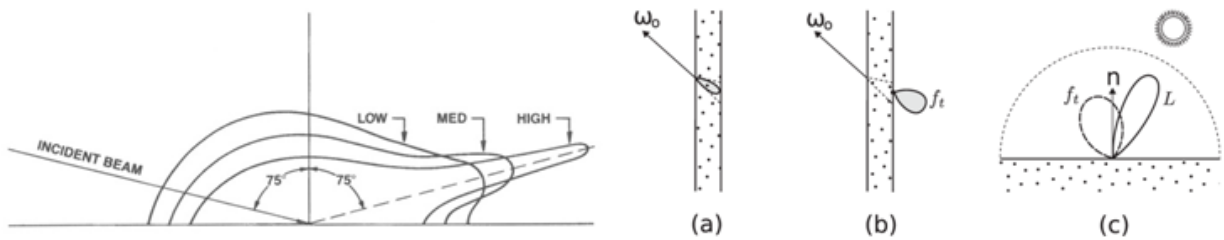
A cikk célja az elsődleges optikát (jellemzően szilikon dómot) nem tartalmazó, alacsony alkatrészalkotású ám magas fényhasznosítású közepes teljesítményű LEDeket alkalmazó közvilágítási optikák bemutatása a fényforrás kialakításából adódó inhomogén fénysűrűség karakterisztika leképezésének szempontjából. A félvezető fényforrások fényhasznosításának rohamos fejlődése komoly piaci lehetőséget nyitott mind a meglévő közúti világítások korszerűsítésére, mind az új kiépítések telepítésére az egyre alacsonyabb bekerülési költségek és egyre gyorsabban megtérülő befektetési lehetőségeknek köszönhetően. A pontszerű fényforrásnak tekinthető fénykibocsájtó diódák nagyon magas felhasználhatósági mutatóval képesek az egyes célterületek világítástechnikai követelményeit teljesíteni, ezzel csökkentve a fényszennyezést és növelve a tényleges fényhasznosítást. Az installációk bekerülési költségének csökkentése céljából megfelelő optika alkalmazásával lehetőség nyílik közepes teljesítményű LEDek alkalmazására. Ilyen kialakítások során azonban a fényforrás irányfüggő fénysűrűsége és színe térben változik és a dióda felülete megfelelően csak felületi sugárzóként modellezhető.

Kulcsszavak

LED, Közvilágítás, Optika, Szintan, Fényforrás

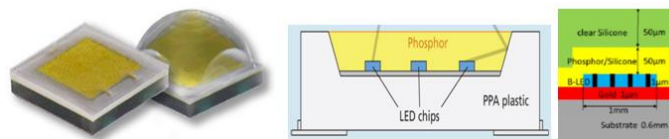
1. BEVEZETÉS

Kültéri LED-es világítástechnikai alkalmazások során a dióda pontszerűnek tekinthető fényforrás a tradicionális lámpákhoz képest, ezért lehetőség nyílik viszonylag kompakt méretű, fénytörésen alapuló lencsés megoldásokkal kiváltani az elterjedt reflektoros megoldásokat. Ennek fő oka a teljes rendszer költségeinek csökkentése mind a közvetlen anyagárban, mind közvetetten, a könnyebb, kisebb kialakításból származó teljes változó költségek csökkenése lévén. Fontos különbség optikai szempontból nézve, hogy míg a reflektorokat használó rendszerek a felületi visszaverődések során valamennyire szórják a fényt, addig ez a jelenség egy törőoptika esetében, ahol jellemző az N 1-es (DIN), A-1 (SPI) felületi minőség [1], nagyságrendekkel kisebb mértékben figyelhető meg. Az 1. ábra bal oldali grafikája egy beeső fénysugár visszaverődési eloszlását szemlélteti három különböző felület esetében. A LOW jelző az alacsony tükrös- és magas diffúz reflexióra utal, míg a HIGH jelű görbe mutatja be a reflexió jellegét erősen tükrös- és mellette enyhén diffúz felületi tulajdonságok mellett. A közvilágításban alkalmazott reflektorfelületek az utóbbi tulajdonságaival rendelkeznek, ezzel összemosva a fényforrás vetített képét. Ezen felül további színkeveredést eredményez a többszörös reflexió megjelenése. Az 1. ábra jobb oldalán az optikai törőfelületeken megjelenő szóródás jelenségének karakterizálását mutatja be.



1. ábra, Tükrös visszaverődések és optikai fénytörés karakterizációja

A LED-es közvilágítási rendszerek optikai alkalmazás szempontjából csoportosíthatóak továbbá a fényforrás kialakítása szerint is. Ezek teljesítményük alapján lehetnek közepes- illetve magas teljesítményű, kialakításuk szerint dómos és dóm nélküli fénykibocsájtó diódák. Epoxi vagy szilikon kupolát jellemzően csak nagy teljesítményű LED-eken alkalmaznak a többletköltség miatt, ezzel javítva a fénykinyerési mutatót [2] és homogenizálva a fény térbeli színezetét. A 2. ábra egy igen magas teljesítményű félvezető fényforrás két változatát mutatja be és azok szerkezeti felépítését. A világítástechnikában használatos fehér LED-ek alapja egy diszkrét kék fényt előállító félvezető réteg, amelynek a szinképi spektrumát sárga fénnyel előállított széles sugárzási intenzitás eloszlás egészíti ki a feketetest sugárzóhoz hasonló érzékelt fénné. Látható az ábrán, hogy egyes sugarak igen hamar kiléphetnek abból a szilikon alapú térrészből, amelyben a kék színérzetet keltő fénnyalábok a fénnyel hatására energiamennyiségük egy részét eldisszipálva sárgás fénné alakulhatnak. Ezek nagyobb valószínűséggel eredményeznek kék-, míg a nagyobb szögben kilépő sugarak inkább sárga színérzetet. A dóm alkalmazásával ez a hatás nagyban csökkenthető azáltal, hogy az adott geometria a merőleges irányban kilépő sugarak egy részét képes a nagyobb kilépő szögek irányába vezetni.



2. ábra, Dómos és dóm nélküli LED-ek felépítése

A 3. ábra néhány olyan LED-es megoldást szemléltet, ahol az optikák színszétválasztása nagyon szembeűnő. Jellemzően a vetített kép szélei felé sárgább a megvilágítás. Fontos megjegyezni, hogy bár a lencsés optikák, amelyek dóm nélküli fényforrást használnak sokkal érzékenyebbek a színezet inhomogenitását tekintve, minden fénykibocsájtó diódás rendszer ki van téve ennek a hatásnak. Az ábrán a felső sor jobb oldali képe egy dómos optikát használó reflektoros terméket szemléltet.

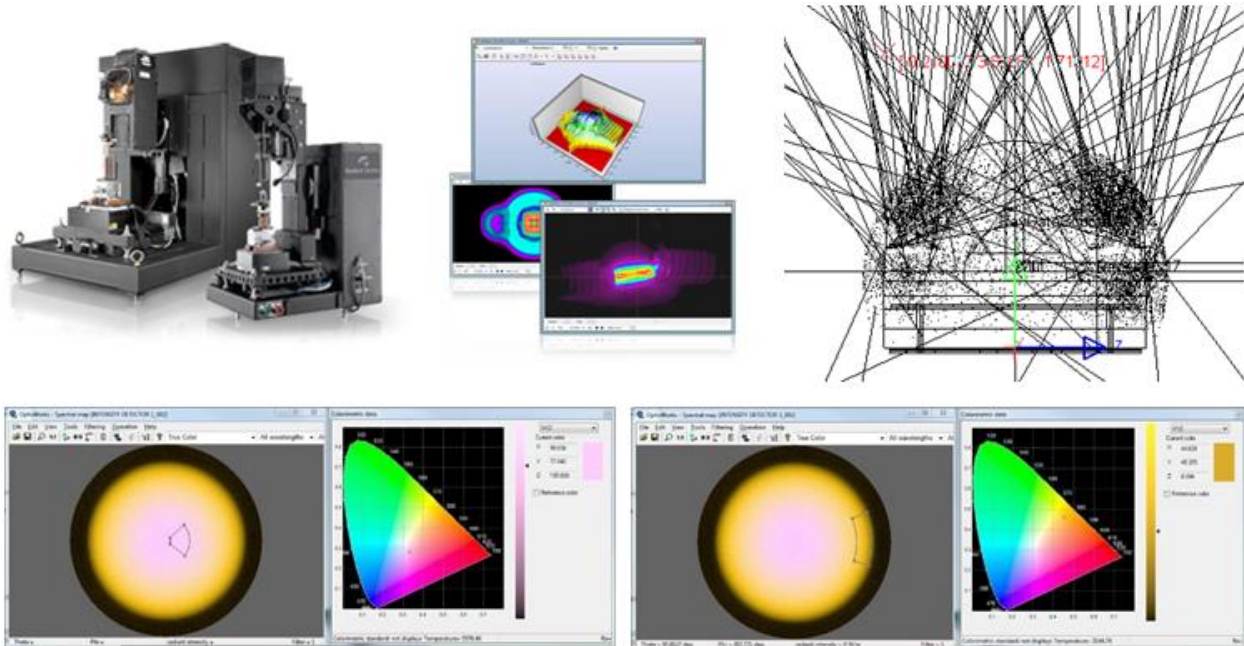


3. ábra, LED fényforrást alkalmazó optikák színszétválasztási problémái

2. FÉNYFORRÁSOK OPTIKAI MODELLEZÉSE

A leképező optikák mechanikai és optikai tervezése szoros integrációban kell, hogy történjen (optomechatronika [4]), mivel a teljes rendszer keresztthatásai döntő jelentőséggel bírnak a termék minőségének és teljesítményének megítélésében. A rendszerek fénytani modellezése és optimalizálása általában nem szekvenciális, Monte-Carlo alapú sugárkövetéses szimulációs eljárással történik. A térbeli irányok szerint karakterizált diódából kibocsájtott nagyszámú optikai sugárnak a rendszeren történő átvezetésével és a diszkrét eredmények konvolúciójával a valósághoz közelítő eredmény érhető el. A LED gyártók döntő többsége nem végez színezetet figyelembe vevő karakterizálást, csupán az adott irányba vett optikai sugárzás intenzitása vagy fényűrűsége alapján közölnek az emberi szem átviteli karakterisztikáját figyelembe vevő teljesítmény-eloszlásokat a fénysugarak kiindulási koordinátáinak és irányának függvényében. Ezen fájlok mérete jellemzően 50-100Mb, míg a színinformációkat is tartalmazó eloszlások mérete 1Gb fölötti tárhelyet foglal el a szimulációk során a memóriában.

A 4. ábra egy, a karakterizációhoz használatos berendezést (Közeli mezős fénysűrűségmérő), az ezzel készített adatiértékeléseket [5] és annak integrációját mutatja be egy CAD rendszerbe a korábban bemutatott fényforrás dómot alkalmazó változatának példáján. Az alsó ábrákon megfigyelhető, hogy a karakterizált fényforrás adott térrészre átlagolt színpontja a magasabb kilépő szögek irányában eltér az alacsonyabb szögekétől és inkább sárgásabb a magasabb fénypor átalakítási mutató miatt.



4. ábra, LEDes fényforrások irányfüggő optikai karakterizációja

3. SZÍNSZÉTVÁLASZTÁS ELKERÜLÉSÉRE OPTIMALIZÁLT MECHANIKAI KIALAKÍTÁS

A jelenség elkerüléséhez a leképező felületeket, mind tükröző, mind törő optikák esetében szóró tulajdonságúvá kell tenni azokon a kritikus részekben, amelyekre közvetlenül kivetül egy olyan szegmense a fényforrásnak, ahol a fénypont hirtelen megváltozik. Fontos megérteni, hogy a LEDeket a teljes hasznos térrészbe kivetített fényük kiintegrálása alapján osztályozzák, ezért a sárgásabb részek, mint ahogy az a 4. ábrán látható - szelektív kicsatolása a rendszerből, bár javíthat a problémán; nem nyújt valódi megoldást. A szórás megvalósításának legelterjedtebb módja az úgynevezett *fazettázás*, melynek lényege olyan szóró szegmensek kialakítása az optikailag aktív felületeken, amelyekkel az adott leképezés egy fókuszált pont helyett egy felületre képezhető le. Amennyiben ez a megoldás nem nyújt megfelelő színkeverést a megvilágított felületen, abban az esetben az eredeti felületen szükséges makro léptékű de-fókuszáló görbület kialakítása, ez azonban gyakran a teljes optikai koncepció újragondolását teszi szükségessé.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

[1] Samu Krisztián, Zsellér Viktor, Modern LED-es közvilágítási lámpatest kiterjedt lencsés leképező optikájának mechanikai integrációja, OGÉT 2015: XXIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó - OGÉT 2015. Csíksomlyó, Románia, 2015.04.23-2015.04.26. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, 2015. pp. 290-293.

[2] LEDs Magazine, Design considerations for enhancing LED efficiency, October 2012 issue

[3] Shu-Li Hsiao, Neng-Chung Hu, Hugo Cornelissen, Phosphor-converted LED modeling using near-field chromatic luminance data, Optics Express Vol. 21, Issue S2, pp. A250-A261 (2013), DOI: 10.1364/OE.21.00A250

[4] Hyungsuck Cho, Optomechatronics: Fusion of Optical and Mechatronic Engineering, November 29, 2005 by CRC Press Reference - ISBN 9780849319693

[5] Handbook of LED Metrology, INSTRUMENT SYSTEMS GmbH, V1.1,
http://www.instrumentsystems.de/fileadmin/editors/downloads/Products/LED_Handbook_e.pdf