LED-HALOGÉN NAPSZIMULÁTOR TERVEZÉSE KISMÉRETŰ NAPELEMCELLÁK VIZSGÁLATÁHOZ

DESIGNING PROCEDURE OF LED-HALOGEN HYBRID SOLAR SIMULATOR TO SMALL SIZE SOLAR CELL TESTING

Koós Dániel¹, Bodnár István²

¹Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet Cím: H-3515 Magyarország, Miskolc-Egyetemváros, Telefon / Fax: +36-20-290-1108, daniel.koos1@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet Cím: H-3515 Magyarország, Miskolc-Egyetemváros, Telefon / Fax: +36-46-565-142, vegybod@uni-miskolc.hu

Abstract

During the experimental investigation of solar cells the quality of the illumination is essential. In case of the solar simulators the main goal is the accurate reproduction of the sunlight. Design procedure of a halogen-LED hybrid solar simulator is described in this article. One of the main goal is the compliance with the relevant standard (ASTM E972).

Keywords: solar cell, solar simulator, LED, halogen.

Összefoglalás

A napelemek laboratóriumi vizsgálata során az egyik legfontosabb tényező a megvilágítás minősége. A napfényszimulátorok esetében a cél mindig a napsugárzás lehető legpontosabb reprodukálása. Jelen cikk egy halogén-LED hibrid megvilágítással működő napfényszimulátor tervezési lépéseit mutatja be. A tervezés során az egyik fő cél a vonatkozó szabványnak (ASTM E972) való megfelelés.

Kulcsszavak: napelem, napfényszimulátor, LED, halogén.

1. Bevezetés

Az első generációs napfényszimulátorok halogén-, xenon- vagy egyszerű volfrám-szálas fényforrásokon és azok kombinációján alapulnak [1]. A félvezető technológia fejlődésével új típusú napfényszimulátorok jelennek meg, amelyek nagyteljesítményű LED egységeket alkalmaznak. Ezen eszközök működése energiahatékony és jó irányíthatóság jellemzi őket, továbbá különböző színű LED egységek kombinációjával a napfény spektrális szerkezete jól közelíthető velük. Hátrányként említhető azonban,

hogy tisztán LED egységeket alkalmazva nehéz elérni a szabványos vizsgálatokhoz szükséges 1000 W/m² fényintenzitás értéket [2]. E problémát küszöbölik ki a LED és hagyományos megvilágítást (pl.: halogén) kombináló megoldások [3].

2. Tervezés

A napfényszimulátorokra érvényes követelményekkel az American Standard for Testing and Materials (ASTM) E972-es szabványa foglalkozik [4]. Célunk e szabvány szerinti *C osztályú* napfényszimulátor készítése, amely segítségével maxiámálisan

150×150 mm méretű napelem cella megfelelő megvilágítása válik lehetségessé. A konstrukció a nagyteljesítményű színes LED egységek és halogén izzók kombinációján alapul. A tervezés során a LED színcsoportok optimális megtáplálási áramerősségeinek és a halogén izzók megfelelő darabszámának, pozíciójának meghatározása a cél, fő szempontként szem előtt tartva a szabvány által előírt spektrumszerkezetet és fényintenzitás eloszlás homogenitását.

2.1. Spektrális egyezés tervezése

Az egyes fényforrások abszolút spektrumszerkezetének meghatározása közvetett módon történik. A LED egységek esetében minden színre ismert a sugárzás hullámhossztartománya és a sugárzási csúcshoz tartozó hullámhossz, illetve mérések alapján a megvilágítás átlagos fényintenzitás értéke különböző megtáplálási áramerősségek esetén. Ezen adatok ismeretében az egyes LED egységek abszolút spektrumszerkezete Gauss-görbékkel jól közelíthető. A halogén lámpa spektrumszerkezetét a fekete test sugárzása alapján közelítjük, 3200 K színhőmérsékletet feltételezve. Az egyes fényforrások spektrumgörbéinek szuperpozíciója adja a napszínvizimulátorra jellemző spektrumszerkezetet az adott változó paraméterek esetére. A szabvány által előírt spektrumegyezés vizsgálat során adott hullámhossz-tartományokra kell számítani a spektrumeltérést az (1) összefüggés alapján.

$$SE(\lambda_a - \lambda_f) = \frac{\int_{\lambda_a}^{\lambda_f} E_{NSz}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_a}^{\lambda_f} E_{AM1,5}(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

ahol: $SE(\lambda_a - \lambda_f)$ a spektrumeltérés az adott hullámhossz-tartományra [-]; λ_a a hullámhossz-tartomány alsó határa [nm]; λ_f a hullámhossz-tartomány felső határa [nm]; E_{NSz} a napszínvizimulátor spektrális intenzitása [$W/m^2/nm$] és $E_{AM1,5}$ napsugárzás spekt-

rális intenzitása [$W/m^2/nm$].

A spektrum optimalizálás során a LED színcsoportok azon megtáplálási áramerősség kombinációit keressük (a megengedett áramerősség határokra belül), amelyek esetére az (1) összefüggés alapján számítható spektrumeltérés minden hullámhossz-tartományra a szabványban foglalt *C osztálynak* megfelelően. Ezt a feladatot *MATLAB* környezetben oldjuk meg, ahol a program 625 áramerősség kombináció esetére végzi el az ismertetett metódust és határozza meg minden iteráció során a spektrumeltérést a vizsgált hullámhossz-tartományokra. Az **1. ábra** a legjobb egyezést eredményező áramerősség kombinációk esetén mutatja az egyes fényforrások, a napszínvizimulátor és a napsugárzás (globálsugárzás AM 1,5) spektrális eloszlását.

1. ábra. Optimális spektrális eloszlás

2.2. Fényintenzitás eloszlás tervezése

A megfelelő fényintenzitás eloszlás keresését próbamérések előzik meg. A LED egységek esetén a spektrumvizsgálathoz elvégzett fényintenzitás mérések eredményeit használjuk fel. Jelen esetben is 625

áramerősség kombinációra számítjuk *MATLAB* környezetben a kialakult fényintenzitás eloszlást. A halogén lámpák esetében a változó a darabszám és a pozíció. A lámpák helye adott (a LED mátrix sarkai és oldalfelező pontjai), azonban a vízszintessel bezárt szög, a vizsgálati síktól, a LED mátrixtól vett távolság és a lámpák darabszáma (4 db vagy 8 db) változik. Ebben az esetben az ismertett változók 27 kombinációjának próbája történik. Minden kombináció esetén a program számítja a két megvilágítási típus szuperpozíciójából származó fényintenzitás eloszlást és a (2) összefüggés alapján meghatározza az adott fényintenzitás eloszlás egyenletlenségét.

$$T_{EGy} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}, \quad (2)$$

ahol: T_{EGy} a fényintenzitás eloszlás egyenletlensége [-]; $E_{\max}$ maximális fényintenzitás [W/m^2]; $E_{\min}$ minimális fényintenzitás [W/m^2]. A cél a legjobb homogenitást produkáló kombináció (LED esetén áramerősségek, halogén esetén pozíció és darabszám) megtalálása. A 2. ábra szemlélteti a legjobb homogenitást mutató fényintenzitás eloszlást a vizsgálati területen.

2. ábra. Legegyenletesebb fényintenzitás eloszlás a vizsgálati területen

3. Eredmények

3.1. Tervezett konstrukció

Az általunk tervezett napszimulátor konstrukciót 36 db, egyenként 5 W teljesítményű LED egység és 8 db, egyenként 50 W teljesítményű halogénizzó kombinációja és az ezeket kiszolgáló alegységek (tápegységek, szabályozó egységek hűtőborda, ventilátor és ház) alkotják. A tervezés során meghatározott megtáplálási áramerősségeket a LED színcsoportok esetén (1 db LED-re értve) az 1. táblázat mutatja be. A halogén lámpák pozícióját a 2. táblázat írja le.

1. táblázat. Különböző színű LED egységek megtáplálási áramerősség- és feszültség értékei

Szín	I [mA]	U [V]
Piros	710	2,5
Kék	710	3,4
Zöld	670	3,2
Fehér	680	4,0

2. táblázat. A halogén lámpák pozíciója

Vízszintes távolság a LED mátrixtól	Sarkon:	Oldalt:
	30 mm	34 mm
Vízszintessel bezárt szög	Sarkon:	Oldalt:
	30°	45°
Magasság a vizsgálati tartománytól	Sarkon:	Oldalt:
	75 mm	60 mm

3.3. Napfény-szimulátor szabvány szerinti megfelelıssége

Az említett szabvány a napfény-szimulátorok osztályozását három szempont alapján végzi el. Ezen szempontok és a *C osztálynak* megfelelı eszköz esetén a kritériumok értékei a következık: (i) megvilágítás spektrumának eltérése a napfényéhez képest: 40-200 %; (ii) megvilágítás térbeli egyenletlensége: $\leq 10\%$; (iii) megvilágítás idıbeli egyenletlensége: $\leq 10\%$. Mindemellett a szabványos készülékeknek minden kategória esetén biztosítani kell tudniuk a

földfelszíni (AM 1,5) maximális 1000 W/m^2 átlagos fényintenzitás értéket.

Az általunk tervezett napszimulátor átlagos fényintenzitás értéke 910 W/m^2 és a fényintenzitás eloszlás homogenitása 12 % a számítások alapján. A spektrális egyezést a **3. táblázat** szemlélteti.

3. táblázat. Számított spektrális egyezés a vizsgált hullámhossz-tartományokban

Hullámhossz tart. [μm]	Spektrális egyezés [%]
0,4-0,5	12,8
0,5-0,6	67,0
0,6-0,7	82,3
0,7-0,8	67,9
0,8-0,9	81,5
0,9-1,1	115,3

4. Következtetések

Munkánk során a cél egy, a szabvány szerint *C osztályba* sorolható napszimulátor tervezése, amely alkalmas kisméretű napelemcellák vizsgálatára. Az eredmények alapján elmondható, hogy a fényintenzitás nagysága és homogenitása tekintetében kismértékben elmarad a szabvány szerinti előírástól. Ez a probléma valószínűleg a halogén lámpák pozíciójának további optimalizálásával megoldhatóvá válik. A spektrális egyezés esetén a megvilágítás minden hullámhossz-tartományban megfelel a szabvány szerinti *C osztály* követelményeinek, kivéve a 400 nm – 500 nm intervallu-

mot. Ez az eredmény új, alacsony hullámhosszon domináns LED egység (ultraibolya) beépítésének szükségességét jelzi. Összességében elmondható, hogy a halogén-LED hibrid megvilágítás segítségével viszonylag költséghatékony módon előállítható szabványos napfényvizsgálat, azonban esetünkben e cél elérése érdekében további vizsgálatok szükségesek.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Wang, W.: *Simulate a 'Sun' for Solar Research: A Literature Review of Solar Simulator Technology*, Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology, Swede, Stockholm, 2014.
- [2] Kohraku, S., Kurakowa, K.: *A Fundamental Experiment for Discrete-Wavelength LED Solar Simulator*, Solar Energy Materials & Solar Cells 90. pp.3364-3370. 2006.
- [3] Bliss, M., Betts, R., T., Gottschlag, R.: *An LED-based photovoltaic measurement system with variable spectrum and flash speed*, Solar Energy Materials & Solar Cells 93. pp. 825–830. 2009.
- [4] ASTM International: E927-05, *Standard Specification for Solar Imulation for Photovoltaic Testing*, United States, 2005.

Köszönetnyilvánítás

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I-ME/28. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.