FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XVIII.

Kolozsvár, 2013. március 21–22.

UV LED MODULBAN KIALAKULÓ HŐÁTVITELI FOLYAMAT VIZSGÁLATA

KALMÁR László, HELLMANN Ralf, RÉGERT Tamás, VÍGH Viktor

Abstract

The paper deals with CFD analysis of the heat transport process caused by High Powered LED (Light Emitting Diode) in UV LED Modules. This project is a R&D topic including both the laboratory measurements and the CFD simulations of UV LED Modules. The project is the result of the several year-long joint research activities between the University of Aschaffenburg and the University of Miskolc. First, the **1-UV-LED Module** is introduced, then the measurement after that main steps of the numerical simulation are discussed. Finally the results of measurement and simulation are compared. The second part of the paper deals with a more complex **44-UV-LED Module** and also with its numerical simulation.

Key words: UV-LED Module, Numerical simulation, Heat transport

Összefoglalás

A cikk nagyteljesítményű UV LED modulokban keletkező hőátviteli folyamatok vizsgálatával foglalkozik. A hőmérsékleti méréseket –az előre definiált mérési pontokon- a németországi Aschaffenburgi Műszaki Egyetemen köszönhetően, míg a numerikus szimulációkat a Miskolci Egyetem keretein belül sikerült megvalósítani. Így ez a kutatás-fejlesztési projekt a két képzési intézmény szoros együttműködésének az eredménye. A cikkben bemutatásra kerülő eredmények egy korábbi tanulmány [2] folytatásaként végzett önálló kutatómunka során keletkeztek. Először **1-UV-LED Modulra** vonatkozó laboratóriumi mérések és numerikus szimuláció és az így kapott eredmények összehasonlítása kerül bemutatásra. A cikk második része pedig az előzőnél jóval összetettebb, **44-UV-LED Modulra** vonatkozó numerikus szimuláció részleteinek bemutatásával foglalkozik.

Kulcsszavak: UV-LED modul, numerikus szimuláció, hőátvitel

1. Bevezetés

Az ipar az utóbbi időszakban egyre nagyobb figyelmet fordít az UV fény alkalmazásának fontosságára, mivel számos ipari technológiában teret nyert az ibolyántúli fény használata. Elsősorban különböző ragasztóanyagok kötési idejének csökkentésében használatos, de csöveken lévő repedések és hibák feltárásában is segíthet, valamint a hétköznapi életet is javíthatja víztisztító hatása miatt. A hagyományos UV eszközökben az igen rossz hatásfokuk miatt jelentős hőfelesleg keletkezik és ezért az élettartamuk is csekély. Méretük miatt pedig azok nem alkalmazhatóak minden területen. A használatuk során mérgező gázok felszabadulásának veszélyével számolva, pedig bizonyos helyeken tilos a használatuk. Az UV fény előállításához így egy alternatív és hatékonyabb megoldást jelenthet a LED technológia.

2. UV LED modul

Az először vizsgált **1-UV-LED Modul** egy darab UV LED-et tartalmaz, amely egy egyedi készítésű 30 mm x 30 mm-es áramköri lapon került elhelyezésre. Az áramköri lap (használatos elnevezéssel a NYÁK) a jó hővezetés miatt alumíniumból készült és 2 mm vastagságú hordozó rétege van. Ezeket az áramköri lapokat (angol elnevezéssel: Insulated Metal Substrate) nagyteljesítményű eszközök használatakor alkalmazzák, ahol jelentősebb értékű áram folyik a villamos „huzalozáson” át. Emiatt szükség van megfelelő vastagságú szigetelésre, és arra is, hogy az eszköz a hőfeleslegét képes legyen elvezetni. Így a modul 75 µm vastagságú dielektrikummal, és 105 µm vastagságú rézréteggel rendelkezik. Mivel a dielektrikum hővezetési tényezője körülbelül 100-szor rosszabb, mint a közvetlenül alatta található alumíniumé, ezért fontos, hogy feleslegesen ne legyen nagyobb ennek a rétegnek a vastagsága, mint ami a villamos szigeteléshez feltétlen szükséges. Ez által biztosítja a jobb hűtést, aminek köszönhetően nő a berendezés hatásfoka és az élettartama is.

3. A nagyteljesítményű UV LED

A mérés során a Semileds által gyártott SL-V-U40AC típusú UV LED került alkalmazásra. Az **1-UV-LED Modul** kimenő fénytéljesítményének meghatározását Ulbricht-gömb segítségével végeztük, amely értékből a bemenő villamos teljesítmény ismeretében meghatározhatóvá vált a kimeneti hőteljesítmény is.

1. ábra. A vizsgált UV LED spektruma

Ahogy az 1. ábrán is jól látható, a vizsgált LED spektruma keskeny tartományban sugároz 392 nm csúcserővel, ami az UV fényt igénylő alkalmazásokhoz ideális. A kimenő fénytéljesítmény értéke a bekapcsolást követve 120 mW, majd a modul melegeedésével csökkenni kezd és tartós üzem esetén 110 mW is lehet. Így a LED hatásfoka 9% és 10,4% közé esik, amely értéktartomány a LED technológiában rossznak mondható, de ez akár a többszöröse is lehet a hagyományos UV eszközökkel összehasonlítva.

4. Hőmérséklet mérés

A hőmérséklet változásának laboratóriumi méréséhez külső befolyásoló tényezőktől mentes környezetet kellett kiválasztani (ahol nincs pl.: hőmérséklet-ingadozás, változó fényviszonyok, mechanikai rezgések) annak érdekében, hogy az egyes pontokban mért hőmérséklet értékek minél pontosabb közelítést adják a valóságban kialakuló értékeknek.

2. ábra. A modulról készült kép, a LED hőmérsékletének mérése közben

2. ábrán láthatók az **1-UV-LED Modulon** a mérés végrehajtásához 10 db. előre megjelölt mérési pontok. Ezek a pontok szimmetrikusan helyezkednek el és 5, 10, 15 illetve 20 mm távolságra találhatók az UV-LED közepétől számítva (a UV-LED tetejének közepe az 1. mérési pont, így összesen 11 mérési pontunk van). A mérés során alkalmazott Opsens által gyártott száloptikás OTG-F szenzor 0,05 °C felbontásra képes 5 ms válaszidő mellett. Az érzékelő 150 µm-es átmérője miatt, a jó pozicionálás és a közvetlen kontakt létrehozása érdekében, elengedhetetlen egy mikroszkóp használata. A 2. ábra kinagyított részében látható a vizsgált UV-LED és a hőmérséklet szenzor mérés közbeni pozíciója.

5. Numerikus szimuláció

A teljes számítási tartomány kidolgozása a Gambit 2.4.6. program segítségével készült el, ami két fő részre bontható: a modult körülvevő levegőre (fluid tartomány), és a LED-et tartalmazó modulra (solid tartomány). A modul fent megnevezett rétegeinek és az UV-LED-nek is ismerjük az anyagjellemzőit. Viszont a rézréteg és a LED közötti hegesztés pontos vastagságát és annak hővezetési jellemzőit nem ismerjük. Ezért az „wall” típusként került a kezdetben definiálásra, amelynek a szimuláció során különböző hőtechnikai tulajdonságokat adhatunk meg. A háló az y^+ faltörvény figyelembe vételével került kialakításra, amely a falak közelében 0,05 mm-es kezdeti cellaméretet jelent. Így a teljes

számítási tartomány 3145174 cellából épül fel, amelynek legrosszabb eleme 0,8-as szögtorzulást mutat.

A szimuláció az ANSYS csomag FLUENT 13 segítségével készült el. A futtatás során standard $k - \epsilon$ turbulencia modellt alkalmaztunk, a hegesztés vastagságát pedig 0,1 mm értékre vettük fel. A hegesztés ismeretlen hővezetési tényező közelítő értékét a mért és szimulációból kapott eredmények minél jobb egyezésének felhasználásával választottuk meg. Így néhány szimuláció elvégzése után a hegesztés hővezetési tényezőjére 1,16 W/mK értéket kaptunk.

Figyelembe véve, hogy az UV-LED fő alkotóeleme zafír, ezért jelentősen változik az anyag hőkapacitása a hőmérséklettel arányosan. Mivel a FLUENT szoftver használatakor egy konstans érték adható meg, ezért a futtatása során 1200 J/kgK értéket választottuk, amellyel a mért és számított hőmérsékletváltozást ábrázoló görbék a kezdeti felfutás szakaszában jól közelítették egymást.

3. ábra. A laboratóriumi vizsgálat során mért és szimulációval számított hőmérséklet értékek összehasonlítása

A 3. ábrán látható, hogy a szimulációval számított és a laboratóriumi vizsgálat során mért eredmények időbeni felfutása, és a „véghőmérséklet” is közel azonos. Vizsgáltuk a hőmérséklet alakulását a szimuláció és a laboratóriumi mérések során passzív módban (csak a modul szolgáltatja álló levegőben a hűtő felületet), és aktív ventilátoros hűtéssel egyaránt. Végeztünk rövid és hosszabb idejű (10-15 perc) méréseket és azokra szimulációkat is végrehajtottunk, amelyek esetén kapott mért és számított értékek hasonlóan jó egyezést produkáltak, mint ami a 3. ábrán látható passzív hűtésre adódott.

6. 44 UV LED-et tartalmazó modul

Az **1-UV-LED Modul** szimulációja során nyert hőtechnikai jellemzők értékeit felhasználva meghatározható a hasonló felépítésű, de 44 db. LED-et tartalmazó **44-UV-LED Modul** hőmérsékletének időbeli változása. A számítási tartomány geometriájának elkészítését követően a hálózás itt is az $y+$ faltörvényt figyelembe vételével készült el. A teljes számítási tartomány 5437889 cellából állt, ami nagy gépi erőforrást követel meg. A teljes tartományra nézve a hálóelemek szögtorzulásának maximális értéke 0,2 alatt maradt.

Mivel a most vizsgált **44-UV-LED Modul** hőteljesítménye 44 szerese az előzőekben vizsgált modul esetében lévő értéknek, ezért a szimuláció során az aktív ventilátoros hűtés alkalmazásával kellett számolnunk. Ebben az esetben a hőteljesítmény ~ 46 W és a kimenő fénytelijsítmény pedig ~ 5 W értékű volt. A 4. ábra jól mutatja, hogy 3 m/s léghűtéssel is kb. 1 másodperc alatt a LED-ek hőmérséklete 130 °C fölé ugrik, ami a bekapcsolást követő 10 másodpercen belül már akár a 200 °C hőmérsékletet is elérheti.

4. ábra. A LED-ek átlaghőmérsékletének alakulása

A fent látható szimulációs eredmény jól tükrözi, hogy a **44 UV-LED Modult** ebben a formában nem szabad alkalmazni, mert az a működtetés során az UV-LED-ek károsodásához vezethet. A használat során legalább hűtőbordával kiegészített aktív léghűtés alkalmazása szükséges. A legcélravezetőbb lehet a megfelelő hűtés biztosítására egy kis helyigényű és hatékony vízhűtési technológia alkalmazása, biztosítva ezáltal az UV-LED-ek hosszú élettartamát és jó hatásfokát.

7. Összefoglalás

Az elvégzett laboratóriumi mérések és numerikus szimulációs eredmények összehasonlításával számos hőtechnikai anyagjellemző értékére kaptunk használható információt, amely további szimulációk végrehajtását teszik lehetővé. Az így kapott közelítő értékeket felhasználva segítséget kaphatunk nagyteljesítményű és bonyolult UV-LED Modulok hűtőrendszereinek tervezéséhez és fejlesztéséhez, amelynek végrehajtása során a hangsúly a mérésről a szimulációra áttolódva jelentős időbeli és anyagi megtakarításokat eredményezhet.

8. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka bemutatott eredményei a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg.

Irodalom

- [1] Vígh Viktor: Investigation of Heat Transport Procedure in High Power LED Modules, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012
- [2] Varga, Z.,D.: Nagyteljesítményű UV-LED modulban kialakuló hőátviteli folyamat CFD szimulációja, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012

Dr. Kalmár László, egyetemi docens
Munkahely: Miskolci Egyetem, Áramlás és
Hőtechnikai Gépek Tanszéke
Cím: 3515, Miskolc – Egyetemváros
Telefon: +36-30-2787917
E-mail: aramka@uni-miskolc.hu

Prof. Dr. Hellmann Ralf, professzor
Munkahely: Applied University of Science,
Aschaffenburg, Németország
Cím: 63743 Aschaffenburg Würzburger Straße 45
Telefon: 06021-4206874
E-mail: ralf.hellmann@h-ab.de

Dr. Régert Tamás, vezető kutatómérnök
Munkahely: von Karman Institute for Fluid
Dynamics, Belgium
Cím: Chaussée de Waterloo, 72B-1640 Rhode-St-
Genèse, Belgium
Telefon: +36-30-4249349
E-mail: tamas.regert@vki.ac.be

Vígh Viktor, MSc hallgató
Munkahely: Miskolci Egyetem
Cím: 3515, Miskolc – Egyetemváros
Telefon: +36-30-2379051
E-mail: vigi3@freemail.hu