

# NAGYTELJESÍTMÉNYŰ LED MODULBAN KIALAKULÓ INSTACIONÁRIUS HŐÁTVITELI FOLYAMAT NUMERIKUS MODELLEZÉSE

## NUMERICAL INVESTIGATION OF UNSTEADY HEAT TRANSPORT PROCEDURE IN HIGH POWER LED MODULE

Dr. Kalmár László\*, Dr. Ralf Hellmann\*\*, Dr. Réger Tamás\*\*\*, Varga Zoltán\*\*\*\*

### ABSTRACT

In many industrial applications the high power UV LED modules in the ultraviolet region of the electromagnetic spectrum are significant opportunity to replace traditional mercury lamps, which have many disadvantages that limit UV applications, and mercury is a notorious pollutant.

However, high power UV LED modules still generate a significant amount of heat that has to be efficiently dissipated in order not to decrease the LED output power and lifetime. UV LED modules overcome these disadvantages, stimulating international R&D efforts to realize LED modules with sufficient optical output power. Therefore, it is highly desirable to investigate the temperature development and distribution on high power UV LED modules and to simulate the unsteady heat transport to the surrounding environment. The scientific task includes the simulation of the temperature development on the high power UV LED module taking into account the environment of the module and also the active air cooling.

### 1. BEVEZETÉS

Sok ipari alkalmazásban a nagyteljesítményű LED modulok az ultraibolya sugárzási tartományban előnyösen kiválthatják a hagyományos higanygőz lámpákat, amelyeknek alkalmazása sok tekintetben előnytelen. Ezek a hátrányok korlátozzák az UV alkalmazást és a higany pedig komoly szennyezőanyag.

Mivel azonban a nagyteljesítményű UV LED modulok működtetése során jelentős hő fejlődik, amelyet hatékonyan kell eltávolítani annak érdekében, hogy a LED modul kimenő teljesítménye és élettartama ne csökkenjen. A megfelelő optikai kimenő teljesítménnyel rendelkező UV LED modul kifejlesztése egy nemzetközi R&D tevékenység elindítását igényelte. A jelenleg is folyó kutatási tevékenység a nagy teljesítményű UV LED modulban kialakuló hő-átviteli folyamatok numerikus szimulációját jelenti az alkalmazott léghűtés figyelembe vételével.

\*egyetemi docens, \*\*\*\*MsC hallgató, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, \*\*professzor, University of Applied Science, Ashaffenburg, \*\*\*vezető kutatómérnök, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Brussels

### 2. 3x3 LED MODUL BEMUTATÁSA

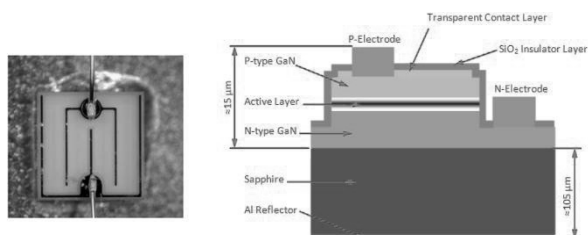
Az említett numerikus vizsgálatot egy, az University of Ashaffenburg kutatói által kifejlesztett és megépített **3x3 UV LED modul** esetére végeztük el, amelynek felülnézeti fényképe az 1. ábrán látható. A felülnézeti képen a 9 darab világos négyzet a LED-ek képe, a 4 sorba és 7 oszlopba rendezett, összesen 28 darab furat pedig az ún. „thermal via”-k elhelyezését mutatja.

Egy „thermal via” valójában a NYAK alsó és felső, rézből kialakított jó hővezető képességű rétegeit összekötő 0,26 mm belső átmérőjű rézcső, amely a két réteg közötti jobb hőcserét biztosítja (lásd a 6. ábrát).



1. ábra. 3x3 LED modul fényképe

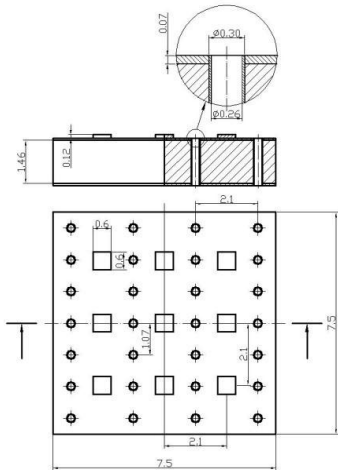
Egy önálló LED képe és szerkezeti felépítése a 2. ábrán látható. Az **3x3 LED modul** műhelyrajzát a 3. ábrán adtuk meg, amelyről leolvashatók a fontosabb geometriai méretek értékei is.



2. ábra. LED felülnézeti fényképe és szerkezeti felépítése

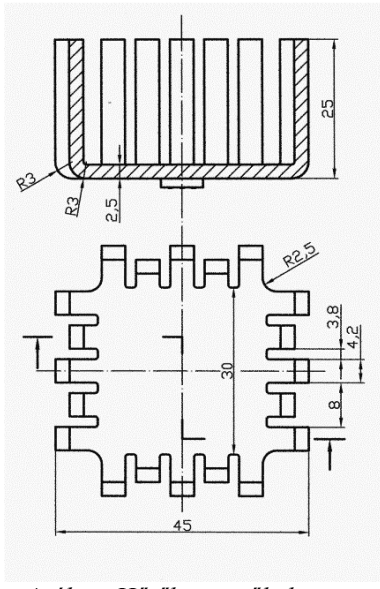
A 2. és 3. ábrákon megadott adatok alapján látható, hogy egy LED mérete 0,6x0,6x0,12 mm, amelynek bemenő villamos teljesítménye 390 mW és ebből az optikai kimenő teljesítmény mindössze 30 mW, vagyis LED-enként kb. 360 mW disszipált teljesítmény fogja

fűteni a **3x3 LED modul**, aminek az elvezetéséről kell gondoskodni.



3. ábra. **3x3 LED modul** műhelyrajza

A **3x3 LED modul** a működtetése közben keletkező hő elvezetése érdekében a 4. ábrán vázolt alumíniumból elkészített hűtőkeretre került felszerelésre.



4. ábra. Hűtőkeret műhelyrajza

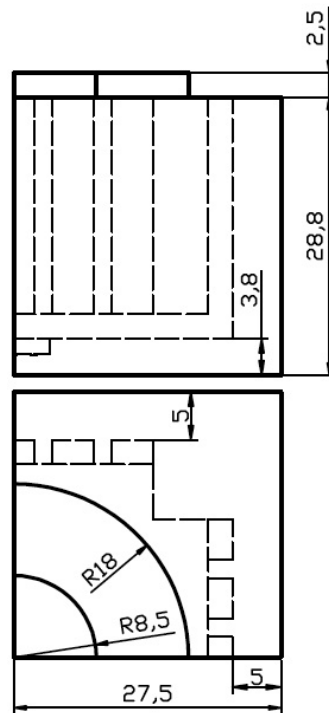
A **3x3 LED modul** a hűtőkeret külső síkfelületének közepére került felerősítésre, aminek a elhelyezése a 4. ábra felső nézetén, az alsó kontúrgörbe alatt látható téglalap formájában látszik. A modul hűtését a hűtőkeret bordáihoz illesztett **FD 6025** típusú ventilátorral biztosítottuk.

### 3. A NUMERIKUS MEGOLDÁS ELŐKÉSZÍTÉSE

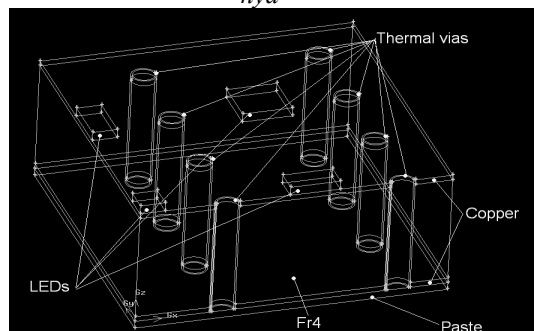
A fent bemutatott részegységekből összeállított be- rendezésben kialakuló hő-átviteli folyamat numerikus szimulációja a feladat, amit a **FLUENT** kereskedelmi szoftver alkalmazásával végeztünk el. Először a numerikus szimuláció előkészítéséhez szükséges tennivalókat ismertetjük, majd ezt követően mutatjuk be a szimuláció számítási eredményeit.

### 3.1. A számítási tartomány meghatározása

A fenti részegységekből álló **3x3 LED modul** hő-átviteli folyamatának numerikus vizsgálatához az 5. ábrán vázolt számítási tartományt alakítottuk ki. A rendszerben meglévő szimmetria tulajdonságokat felhasználva a **3x3 LED modul**, a hűtőkeret és a befúvó ventilátor által határolt áramlási tér negyedét jelöltük ki a számítási tartományként. Az 5. ábra szerinti elrendezésben a hűtőkeret bordái felfelé helyezkednek el, a befúvó ventilátor pedig az  $R=18$  mm és  $R=8,5$  mm körgyűrű keresztmetszeten át nyomja be a környezeti levegőt. A felmelegedett levegő a hűtőkeret bordái között áramlik ki a környezetbe. A **3x3 LED modul** pedig ezen az ábrán az alsó síkfelület szimmetria tengelyénél lévő sarkánál alul helyezkedik el.

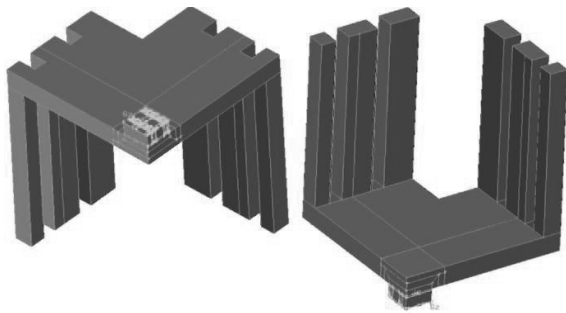


5. ábra. **3x3 LED modul M2** jelű számítási tartománya



6. ábra. **3x3 LED modul M2** jelű testmodellje

A **3x3 LED modul** testmodelljének **Gambit**-ben kialakított testmodellje a 6. ábrán, a hűtőkeret és a **3x3 LED modul** együttes testmodellje pedig két nézetben a 7. ábrán láthatók.

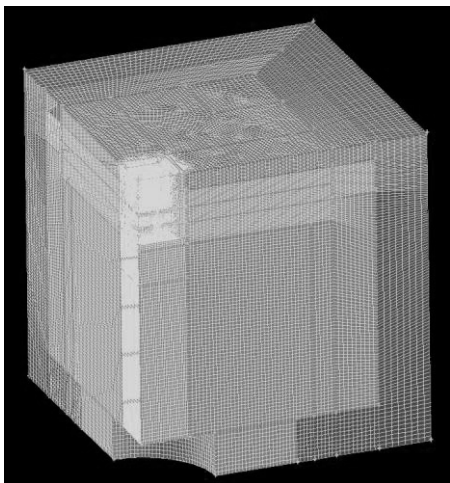


7. ábra. 3x3 LED modul és hűtőkeret M2 jelű testmodellje két nézetben

### 3.2. A számítási tartomány diszkretizációja

A numerikus szimuláció előkészítésének talán egyik legfontosabb lépése a számítási tartomány diszkretizációjának, vagyis a tartomány hálózásának elvégzése. A hálózási tevékenység nagy figyelmet és gyakorlatot igényel, mivel ennek sikeres végrehajtása igen nagy hatással van a numerikus számítási eredmények pontosságára.

Az 5. ábrán látható M2 jelű számítási modell hálózására vonatkozóan a 8. ábrán láthatunk egy külső képet, ahol a ventilátor elszívó keresztmetszete alul, a 3x3 LED modul pedig a felső síkon, a felénk eső baloldali sarokban helyezkedik el.



8. ábra. M2 jelű teljes számítási tartomány hálózása

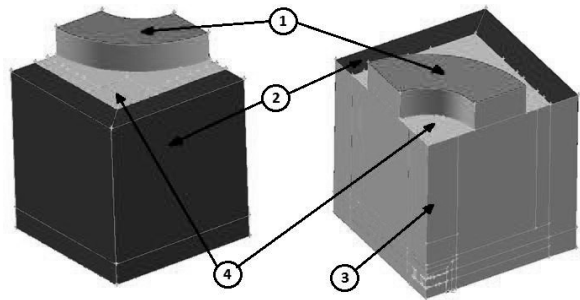
A kialakított numerikus háló elkészítése során 2067563 véges térfogatú elem jött létre, a véges elemek torzultságának maximális értéke pedig 0,8 alatt maradt.

### 3.3. A feladat peremfeltételei

Az előkészítő tevékenység ugyancsak fontos lépése a számítási tartomány egyes részein előírni a numerikus megoldáshoz feltétlen szükséges peremfeltételeket.

Az ábrán **piros színnel** (1 jelű felület) jelölt negyedkörgyűrűn „massflow inlet” (egy adott tömegáramú beáramlás), a **sötétkék szín** (2 jelű felület): „pressure outlet” (adott nyomású környezetbe történő kiáramlás), a **sárga szín** (3 jelű felület): „symmetry” (szimmetria sík) és **világoskék szín** (4 jelű felület) pedig „wall” (szil-

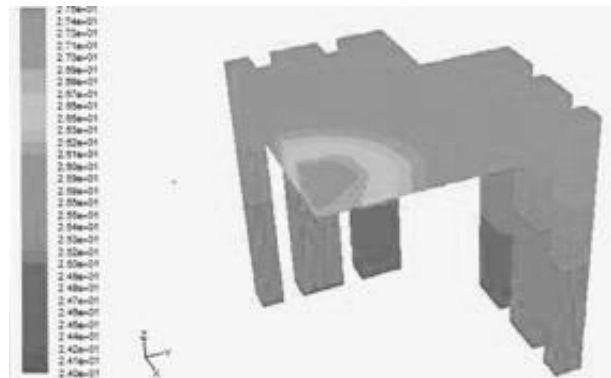
lárd fal) peremfeltételek előírását jelzi. A **3x3 LED modul** minden egyes LED-jénél, azok 0,6x0,6x0,12 mm méretű térfogatába állandó 360 mW fűtőteljesítmény bevitelét írtunk elő.



9. ábra. M2 jelű számítási tartományra vonatkozó peremfeltételek

## 4. SZÁMÍTÁSI ÉS KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

A numerikus futtatás eredményeként elő tudjuk állítani a hőmérséklet eloszlását a teljes számítási tartomány pontjaiban különböző időpontokhoz tartozóan. Egy rögzített időpontra vonatkozó helyszerinti eloszlást a 3x3 LED modul és a hűtőkeret pontjaira a 10. ábra mutat be.

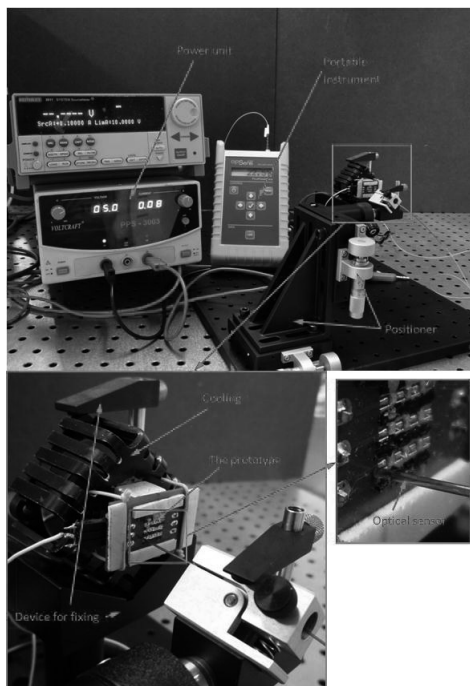


10. ábra. 3x3 LED modulra és a hűtőkeretre vonatkozó hőmérséklet eloszlás a  $t=0.2$  s időpillanatban

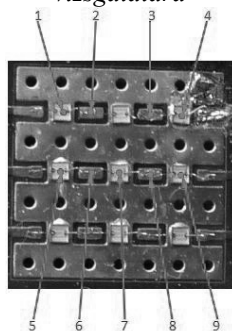
A numerikus szimuláció elvégzésével párhuzamosan laboratóriumi kísérleti vizsgálatok elvégzésére is sor került. Ennek kapcsán a 11. ábrán látható laboratóriumi berendezést alkalmazva a 3x3 LED modul 12. ábrán megjelölt kilenc diszkrét mérési pontjában optikai hőmérséklet érzékelővel meghatározásra került az adott mérési pontban kialakuló felületi hőmérséklet időbeli változása.

A 11. ábrán a tápegység (**Power Unit**), a hordozható hőmérséklet kijelző (**Portable Instrument**) műszerek és az optikai hőmérséklet érzékelő pozicionáló egysége (**Positioner**) láthatók. A baloldali képen a 3x3 LED modul (**The prototype**) és a mögötte lévő hűtőkeret (**Cooling**) képe látszik. A baloldali kép előterében látható az optikai érzékelő és az annak beállítására szolgáló mozgó mechanizmus. A jobboldali fényképen a 3x3 LED modul kismértékben felnagyított képe az optikai hőmérséklet érzékelővel (**Optical sensor**) ismét megje-

lenítésre került. A mérés minden esetben a **3x3 LED modul** szobahőmérsékletű állapotából indul. Először az optikai érzékelő végét a mozgató berendezéssel az adott mérési pontban kontaktusba kell beállítani, majd a **3x3 LED modul** bekapcsolását követően a hőmérséklet időbeli változását regisztrálni. Az új mérés felvétele a **3x3 LED modul** szobahőmérsékletű állapotából indul az előzőekben leírt lépések ismétlésével. A mérés részleteiről itt terjedelmi okok miatt további részleteket nem közlünk. A mért értékeket a szimulációs eredmények validálására kívánjuk itt felhasználni.

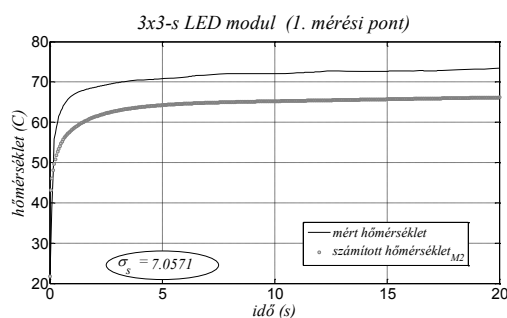


11. ábra. Mérőberendezés a 3x3 LED modul kísérleti vizsgálatára

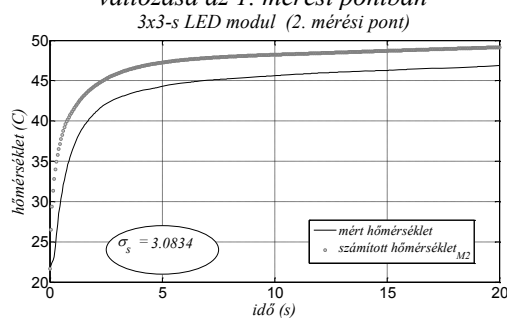


12. ábra. 3x3 LED modul mérési pontok számozása

A kapott számítási és mérési eredményeket az 1. és 2. jelű mérési pontokra vonatkozóan a 13. és 14. ábrákon mutatjuk be. Mindkét ábrán feltüntettük a hőmérséklet mért és a számított időbeli változását és a közöttük kialakuló különbség objektív mérésére azok között meghatározható négyzetes szórás értékeit.



13. ábra. Számított és mért hőmérséklet eloszlás időbeli változása az 1. mérési pontban



14. ábra. Számított és mért hőmérséklet eloszlás időbeli változása a 2. mérési pontban

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A mérés és a szimuláció eredményeinek összehasonlítása minőségileg jó egyezést mutat. A két eloszlás közötti eltérés a mérési módszer és a szimulációs paraméterek megváltoztatása révén javítható. Az összehasonlításból az derül ki, hogy az összes mérési pontra vonatkozóan a LED-ek felületén mért hőmérséklet értékek nagyobbak a szimulált értékeknél. Ez azt valószínűsíti, hogy a tényleges disszipált energia nagyobb a feltételezett értéknél. A LED-ek közötti mérési pontokban a szimulált értékek mindenütt nagyobbak a mért hőmérséklet értékeknél, ami a szimulációnál felvett hőtechnikai anyagparaméterek korrigálásának szükségességét vetheti fel.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka 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 valósult meg.

## 7. IRODALOM

- [1] Glaab, J.: *Development of UV LED Modules for production technology and water purification*, Ms.C. Thesis, University of Applied Science, (Tutor: Prof. Ralf Hellmann), Ashaffenburg, (2010)
- [2] Varga, Z.: *Numerical Simulation of Heat Transfer Procedure in High Power LED Modules*, Bs.C. Thesis, University of Miskolc & University of Applied Science, (Tutors: Prof. Ralf Hellmann, A. Prof. László Kalmár), Miskolc, (2010).