

# UV LED MODUL ÁLTAL KELTETT HŐÁTVITELI FOLYAMAT NUMERIKUS VIZSGÁLATA

## NUMERICAL ANALYSIS OF THE HEAT TRANSPORT PROCESS IN A UV LED MODULE

Varga Zoltán<sup>1</sup>, dr. Kalmár László<sup>2</sup>, Ralf Hellmann<sup>3</sup>

### ABSTRACT

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

### 1. BEVEZETÉS

A cikk egy nagyteljesítményű UV LED (Light Emitting Diode) által keltett hővezetés vizsgálatával foglalkozik. A projekt kutatás-fejlesztési téma, amelyben a LED modul kifejlesztését és legyártását követően laboratóriumi méréssel egybekötött CFD szimuláció, amely az Aschaffenburgi Egyetem (University of Aschaffenburg), és a Miskolci Egyetem évekre visszanyúló kölcsönös kutatási együttműködésének eredménye. Először az 1 db UV LED-et tartalmazó modul, majd a laboratóriumi mérések, végül a numerikus vizsgálat főbb lépései kerülnek bemutatásra. Legvégül a kísérleti és elméleti numerikus eredmények összehasonlítása található.

### 2. UV LED MODUL BEMUTATÁSA

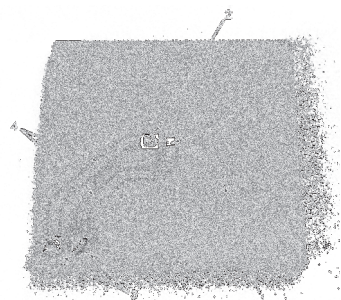
Az UV LED modul több fő részből tevődik össze, amelynek megértését az 1. ábra segíti.

Az 1. ábrán „1” számmal jelölve a nyomtatott áramköri panel található (továbbiakban NYÁK-lap), a „2” jelű szám pedig a nagyteljesítményű UV LED-t jelöli. A „3”, „4”, és az „5” számmal jelölt részek az ábrán a LED elektromos betáplálását megvalósító alkatrészek.

<sup>1</sup>gépészmérnök MSc, Miskolci Egyetem

<sup>2</sup>egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Áramlás és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

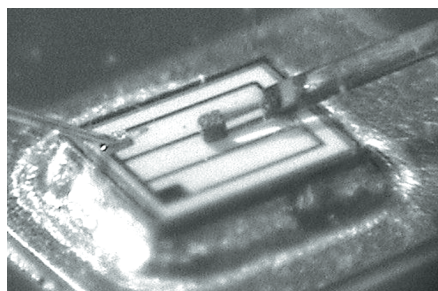
<sup>3</sup>professzor, Applied University of Science, Aschaffenburg, Germany



1. ábra. UV LED Modul fő részei

### 2.1. A nagyteljesítményű UV LED

Az 1. ábrán „2” számmal jelölt elem a nagyteljesítményű UV LED, melynek típusa: Mvp SL-V-U40AC, amelyről 2. ábrán látható egy közeli fénykép. A fényt kibocsájtó dióda a működtetett feszültség-áramerősség tartományban kb.: 1260 mW bemenő, és kb. 150 mW hasznos (a LED-et elhagyó fény) teljesítménnyel üzemel. A nem hasznosított – vagyis hőfejlődésre fordított – teljesítmény kb. 1110 mW. Az előbbi teljesítmény adatokból jól látható, hogy a dióda elég rossz hatásfokkal üzemel.

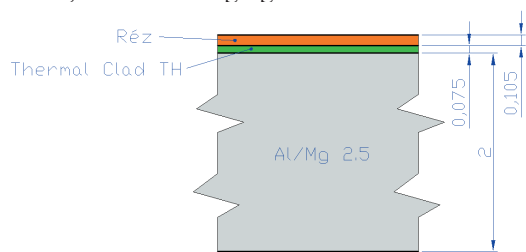


2. ábra. UV LED fényképe

### 2.2 A modulban használt NYÁK-lap

A nyomtatott áramköri lap az elektronikai ipar egyik alapvető eszköze, amelynek köszönhetően sokféle vastagságú, kialakítású és különböző anyagból készített változatokat lehet a kereskedelmi forgalomban kapni. A modulban található LED üzemi körülmények között jelentős mennyiségű hőt generál, melynek elvezetéséről gondoskodni kell. Az UV LED modul kialakítása során

IMS nevű NYÁK-lap került kiválasztásra, melynek 3. ábrán látható egy keresztmetszeti képe. Az ábra bemutatja a lap réteges felépítését. A 3. Ábráról az is jól látható, hogy a lap nagy részét, a 2 mm vastag alumínium ötvözet alkotja. Felette – a LED felé közeledve – található a 0,075 mm vastagságú dielektrikum, melynek anyaga Thermal Clad TH. Legfelül – közvetlenül a LED alatt – az 1. ábrán látható „4”, „5” számmal jelölt alkatrészek 0,105 mm vastagságú rézből készültek.



3.

ábra. A NYÁK-lap felépítése

Az UV LED modul működtetése során keletkezett jelentős mennyiségű hőt a modulban az alumínium ötvözet segít elvezetni, ugyanis az ötvözet hővezetési tényezője közel 90-szer nagyobb, mint a dielektrikumé.

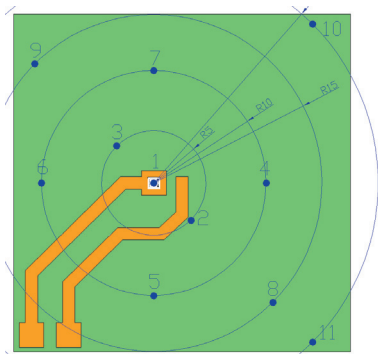
### 3. LABORATÓRIUMI MÉRÉS

A bevezetésben már említettük, hogy a cikkben tárgyalt modul vizsgálata az Aschaffenburgi Egyetemmel közös projekt keretében történik. E projekt végrehatása során a Aschaffenburgi Egyetem MSc hallgatója készített instacionér hőmérsékleti méréseket [2], a Miskolci Egyetem MSc hallgatója pedig numerikus áramlási szimulációval elemezte a modulban kialakuló hőátviteli folyamatokat [1]. Az alábbiakban a laboratóriumi mérés körülményeit és eredményeit tárgyaljuk.

Az instacioner hőmérsékleti méréseket egy egyetemi laboratóriumban végezték, ahol a mérés ideje alatt 23,5 és 25,3 °C között változott a laborban lévő hőmérséklet.

#### 3.1. Mérési pontok

A mérések során összesen 11 db előre meghatározott mérési ponton történt a hőmérséklet időbeli változásának mérése. A 4. ábra felülnézetben szemlélteti a mérési pontok elhelyezkedését.



4. ábra. Mérési pontok

A 4. ábrán jól látható, hogy a 11 db mérési pont összesen 5 db a LED közepén elhelyezett középpontú és különböző sugarú körök kerületein találhatóak meg. Az 1-es mérési pont az R=0 mm körhöz tartozik. A 2, 3 pontok az R=5 mm sugarú körhöz, a 4, 5, 6, 7-es pontok az R=10 mm sugarú körhöz, 8, 9-es pontok az R=15 mm sugarú körhöz, valamint a 10, 11-es pontok az R=20 mm sugarú körhöz tartoznak.

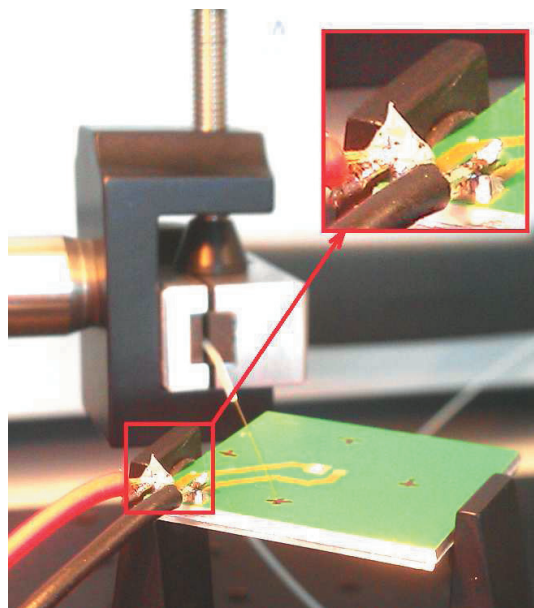
#### 3.2. Mérés eszközei

A dióda a bekapcsolást követően 2 sec-on belül közel 100 °C-ot melegszik, ezért a mérést egy 50 Hz mintavételezési frekvenciával rendelkező Fiber Optic Sensor mérőeszközzel végezték. A műszer felbontása 0,05 °C, a pontossága 0,8 °C (-20 és 250 °C között) a jelkondicionáló és érzékelő hibájával együtt. A készülék előlapjáról látható egy fotó az 5. ábrán.



5. ábra. Fiber Optic Sensor vezérlőpanelja

Mérés közben fontos szerepet töltött még be egy FB126025HB-N típusú axiális ventilátor, mely a mérés kezdete előtt – és a mérés közben is – a NYÁK-lappal párhuzamosan áramoltatott levegővel hűtötte a melegedő modult.



6. ábra. Fénykép a mérésről

Mérés egyéb eszközeit – terjedelmi korlátok miatt – itt nem részletezzük, azonban a 6. ábrán látható egy fénykép, mely a hőmérséklet mérése közben készült.

### 3.2. Mérés eredményei

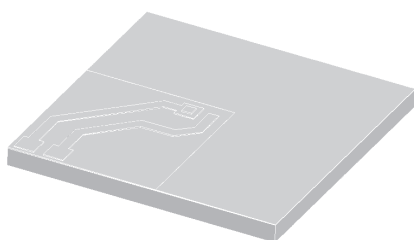
A mérés eredményeket – terjedelmi okok miatt – majd a cikk utolsó bekezdésében, a szimulációs eredményekkel történő összehasonlítás során mutatjuk be.

## 4. A NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ

Jelen fejezetben először a numerikus szimuláció előkészítését tárgyaljuk [1]. Minden áramlástechnikai szimuláció az alábbi fő lépések elvégzéséből áll: geometria kidolgozása, diszkretizáció (hálózás) elvégzése, kezdeti és peremfeltételek megadása, a numerikus szimuláció (futtatás), majd végül a post-processing (eredmények feldolgozása). Jelen cikkben bemutatott szimuláció végrehajtása a véges térfogatok elvén alapuló ANSYS FLUENT kereskedelmi szoftverrel történt.

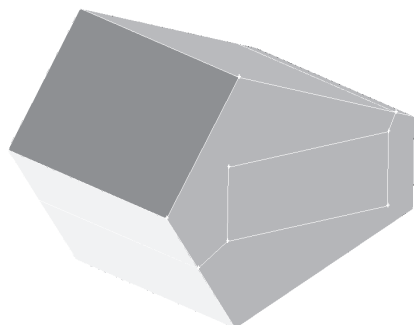
### 4.1. Geometria

Az UV LED modul geometriai méretei rendelkezésre álltak, amelyet felhasználva a FLUENT programcsomag előkészítő szoftverében, a GAMBIT-ben dolgoztuk ki a 3D-s geometriai modellt, amelyet a 7. ábrán mutatunk be.



7. ábra. Modul képe GAMBIT szoftverben

Mivel laboratóriumi mérés során közel állandó sebességű és irányú levegővel hűtötték a modellt, így a szimulációban is szükséges volt e környezeti áramló levegő hűtőhatásának figyelembe vételére. A modellben ezt úgy vettük figyelembe, hogy a modult egy ötszög alapú hasábra (un. szélcsatornába) helyeztük, melyről 8. ábrán látható egy kép.



8. ábra. Az alkalmazott szélcsatorna egy képe

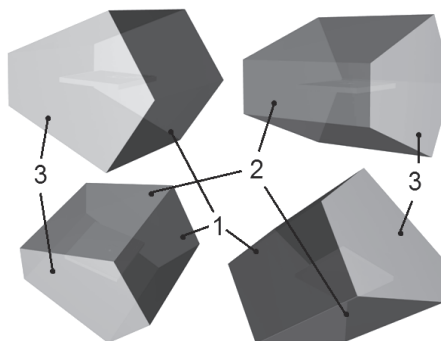
### 4.2. Diszkretizáció (hálózás)

Ahogy korábban már említettük, a numerikus megoldáshoz használt szoftver működése véges térfogatok elvének alkalmazásán alapszik, így a szimulációhoz szükség volt a fenti számítási tartomány véges számú térfogatra való felosztására. Jelen szimulációban fontos szerepet tölt be a modul szorosan körülvevő, ahhoz közel lévő (kis sebességű) levegő, mely a keletkező hőt vezeti el. Ezért volt fontos un. „y+” háló kialakítása a modell körül. Ezt a határreégi sűrítést figyelembe véve alakítottuk ki a hálót, mely nagyrészt strukturált hálót tartalmaz, vegyesen három-, négyszög alapú hasáb és tetra elemekkel. A numerikus vizsgálatokhoz kialakított háló összesen 2 836 702 db. véges térfogatról áll.

### 4.3. Kezdeti- és peremfeltételek

Az előzőekben leírtakból egyértelműen kiderül, hogy a numerikus megoldásra váró feladat egy időben változó hőátviteli folyamat numerikus szimulációjának végrehajtása. Ennek megfelelően a szimulációs számítások elvégzéséhez szükséges a kezdeti hőmérséklet-eloszlás megadása. Erre vonatkozóan azt feltételeztük, hogy a  $t=0$  sec-hoz tartozó kezdeti hőmérséklet eloszlás a számítási tartomány minden pontjában megegyezett a mérőszoba hőmérsékletével, ami kb.: 24,85 °C (298 °K) volt.

A differenciál egyenletek megoldhatóságának további feltételei a peremfeltételek előírása. A modulban összesen 1 db hőforrás található, mely az UV LED. A szimulációban a hőforrás peremfeltételt térfogaton-megoszló fűtőtelsítményként kezeltük, ahol a kiválasztott térfogat megegyezett a dióda befoglaló méreteinek megfelelő térrésszel. A szimulációnk során alkalmazott peremfeltétel megértését a 9. ábra jelöléseivel próbáljuk könnyebben érthetővé tenni.



9. ábra. Peremfeltételek: 1-es „massflow inlet”, 2-es „pressure outlet”, 3-as „symmetry”

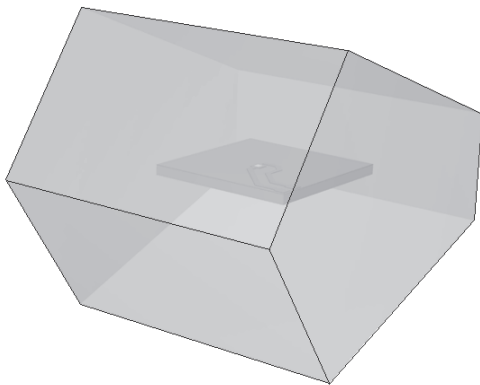
A 9. ábrán a peremfeltételekhez tartozó felületek – a jó követhetőség érdekében – beszámozva láthatóak. Az 1-es számmal jelölt felületek jelentik a „massflow inlet” peremfeltételt, amely a szélcsatornába kerülő levegő tömegáramát adja elő. Az itt beáramló levegő hőmérséklete – a mérési körülményeknek megfelelően – a mérőszoba hőmérsékletével egyezik meg. Nagysága megegyezik a modult hűtő ventilátor által keltett levegő sebességével, mely kb.: 3 m/s, iránya pedig párhuzamos

a NYÁK-lappal. A 2-es számú nyíllal jelölt „pressure outlet” peremfeltétel a szélcsatornából távozó levegő környezeti térbe történő kiáramlásánál a labor helységben uralkodó nyomás értékét írja elő. A 3-as számú felület a szimmetria feltételt jelenti, vagyis erre a síkra nézve a hőmérséklet eloszlás szimmetriáját írjuk elő.

További fontos peremfeltétel volt még a szimulációban a LED, és a NYÁK-lap között lévő forrasztás, amint egy a szimuláció végrehajtása során egy 1-dimenziós hő-ellenállásként vettünk figyelembe.

#### 4.4. Numerikus szimuláció

A numerikus eredmények meghatározása a véges térfogatok elvén alapuló FLUENT szoftver alkalmazásával történt. A szimuláció  $t = 0$  sec-tól 160 sec-ig terjedt, változó időlépcsővel. Az eredményeket a következő pontban a mérési eredménnyel összehasonlítva mutatjuk be. A modulról és a szélcsatornáról készült kép a 10. ábrán látható.



10. ábra. A számítási modelltől készült kép a FLUENT szimulációs szoftverben

### 5. EREDMÉNYEK

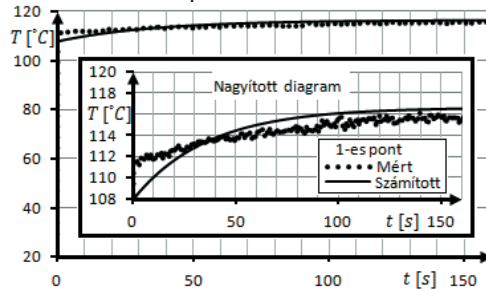
Az alábbiakban a 3. pontban bemutatott mérés [2], és a 4. pontban tárgyalt numerikus szimuláció [1] eredményeit ismertetjük.

A mérési és számítási eredmények is igazolták azt az előre várható tény, hogy a 4. ábrán bemutatott mérési pontoknál az azonos sugáron elhelyezkedők hőmérséklete közel azonos lett a méréseknél és a szimulációknál egyaránt. Ennek eredményeként közös sugáron elhelyezkedő pontok közül csak egy tetszőleges pontot választottunk ki (az eltérés  $< 1\%$ ) az összehasonlításhoz, mind a mérés, mind a számítási eredményeknél.

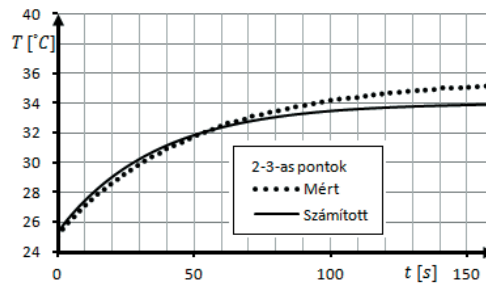
Az 1-es mérési pont eredményei a 11. ábrán láthatóak, a 2-3-as pontokra vonatkozó hőmérséklet eloszlás pedig a 12. ábrán. Terjedelmi okok miatt több eredményt nem tudunk bemutatni, azonban további részletek az [1]-ben találhatóak meg.

A mérési eredményeknél megfigyelhető egy kisebb fajta hőmérsékleti hullámlás. Ennek az ingadozásnak oka viszonylag nagy  $\sim 3$  m/s-os sebességű levegőáram,

amely feltételezésünk szerint kismértékben rezgő mozgásba hozza a Fiber Optic Sensor kisméretű mérőfejét.



11. ábra. 1-es mérési pont számított és mért hőmérséklet-idő függvények



12. ábra. 2-3-as mérési pontok számított és mért hőmérséklet-idő függvények

### 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Megállapítható, hogy az UV LED modul kijelölt mérési pontjaira vonatkozóan a számított és a mért hőmérsékleti értékei jó egyezést mutatnak. Ez annak is köszönhető, hogy a szimulációs modell gondosan felépített geometriával és hálózasi paraméterekkel rendelkezik. Jövőbeli közös terv az Aschaffenburgi Egyetemmel a jelen cikkben is bemutatott UV LED-ből épített 44 db. LED-ből felépített konfiguráció mérése és numerikus szimulációja – a bemutatott modul vizsgálata során szerzett tapasztalatokat is felhasználva – végrehajtásra kerüljön.

### 7. 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.

### 8. IRODALOM

- [1] VARGA, Z. D.: *Nagyteljesítményű UV-LED modulban kialakuló hőátviteli folyamat CFD szimulációja*, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012.
- [2] RUNG, S.: *Presentation about measurement of new LED module*, Workshop, Miskolc, 2012.