

# UV LED MODUL ÁLTAL KELTETT HŐÁTVITELI FOLYAMAT VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF HEAT TRANSPORT PROCEDURE IN UV LED MODULE

dr. Kalmár László\*, dr. Ralf Hellmann\*\*, dr. Réger Tamás\*\*\*, Vigh Viktor\*\*\*\*

### ABSTRACT

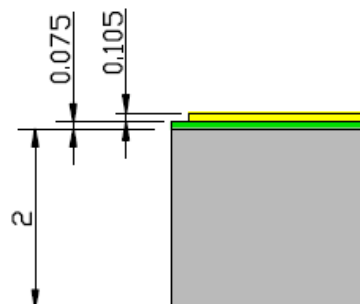
The paper deals with CFD analysis of the heat transport process caused by High Powered LED (Light Emitting Diode) in UV LED Module. This project is a R&D topic including both the laboratory measurements and the CFD simulations of UV LED Module. This project is the result of the several year- long joint 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

Az UV fény használatára egyre növekvő igény jelenik meg a piacon különböző alkalmazásokban, mint ragasztás, víztisztítás vagy akár repedések feltárásában is. Az általános UV eszközök legfőbb hátrányai közé tartozik a rövid élettartam, rossz hatásfok, nagy méret és mérgező gázok tartalma. UV fény előállításához egy alternatív megoldást jelenthet a LED technológia. A cikk nagyteljesítményű UV LED modulokban keletkező hőátviteli folyamatok vizsgálatával foglalkozik. A hőmérsékleti méréseket –az előre definiált mérési pontokon- a németországi Aschaffenburgi Műszaki Egyetemnek 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.

### 2. UV LED MODUL BEMUTATÁSA

A nagyteljesítményű UV LED megfelelő hűtése érdekében, egy speciális alumínium hordozóra gyártott nyomtatott áramköri lapon helyezkedik el (Insulated Metal Substrate) amely egy 3 cm x 3 cm méretű panel. Ezeket a paneleket speciálisan nagyteljesítményű eszközökre gyártják, ahol jelentősen nagyobb áramok folynak, és szükség van a jobb villamos szigetelésre.

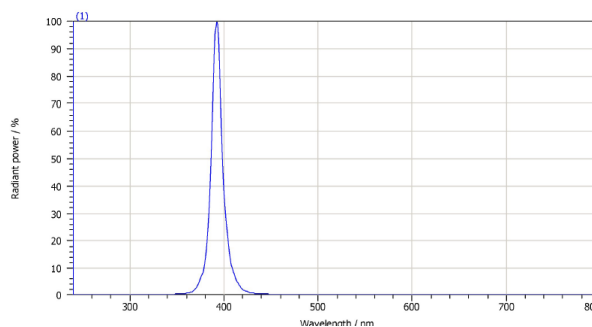


1. ábra. UV LED Modul felépítése [mm]

Az 1. ábrán jól látható hogy a hordozó réteg egy 2 mm vastag alumínium tömb, amely jól elvezeti a LED működése során keletkező hőfelesleget. Ezen a rétegen egy 0,075 mm vastagságú dielektrikum található, mint szigetelő anyag. Mivel a hővezetési tényezője igen rossz (~100-szor rosszabb, mint az alumíniumé), ezért fontos, hogy a réteg vastagsága ne legyen feleslegesen több, mint ami a villamos szigeteléshez szükséges. A réz vastagságát a „huzalon” átfolyó áramerősséghez mérten kell megválasztani, ami jelen esetben 0,105 mm.

### 2.1. A nagyteljesítményű UV LED

A méréshez használt UV LED típusa a Semileds által gyártott SL-V-U40AC. Az eszköz kimenő fényteljesítményét és spektrumát Ulbricht-gömb segítségével sikerült meghatározni.



2. ábra. UV LED spektruma

A 2. ábra jól tükrözi az UV LED technológiában rejlő nagy előnyt az általános UV fényforrásokkal szemben, mivel a LED csak egy keskeny tartományban sugároz 392 nm hullámhosszúságú csúcsertéssel, ami számos alkalmazáshoz ideális. A kimenő fényteljesítmény a bekapcsolást követően 120 mW, majd az eszköz melege- dése során ez az érték 110 mW-ig is csökkenhet.

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Áramlás-és Hőtechnikai Gépek Tanszéke

\*\*professzor, Applied University of Science, Aschaffenburg, Germany

\*\*\* vezető kutatómérnök, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Brussels

\*\*\*\* energetikai mérnök MSc, Miskolci Egyetem

### 2.1.1. Érzékenység vizsgálat

A LED-en átfolyó áram erőssége 350 mA, és az ehhez tartozó feszültség érték 3,4 V, amit a gyártó által közzétett adatlapon megtalálható, illetve mérés közben labor-táp kijelzőjén is leolvasható. A LED hatásfokát nem lehet egyértelműen meghatározni, így a mért kimenő fényteljesítmény két szélsőértékével számolva kapunk egy tartományt.

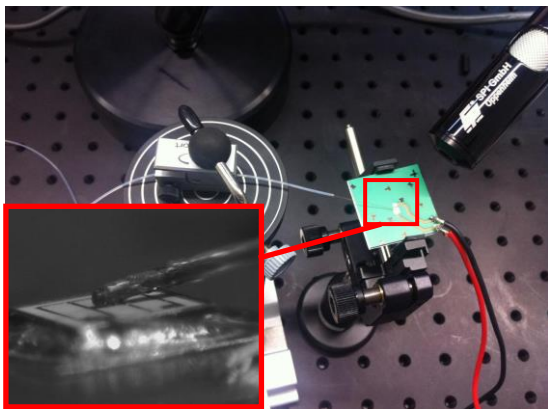
1. táblázat. UV LED hatásfoka

Bemenő villamos teljesítmény [mW]	Kimenő hőteljesítmény [mW]	Hatásfok [%]
1217,76	1107,76	9,03
1155,75	1035,75	10,38

Az 1. táblázatban látható, hogy a LED hatásfoka 9,03% és 10,38% tartományba esik. A 9,03%-os hatásfok esetén 110 mW-os kimenő fényteljesítménnyel, és a labor-táp kijelzőjén látható kerekítés felső értékével számoltunk (3,44V és 0,354A). A 10,38%-os hatásfoknál pedig 120 mW-os kimenő fényteljesítmény mellett a kijelző kerekítésének alsó értékével számoltunk (3,35V és 0,345A). A LED technológiában rossz hatásfoknak mondható 9,03% is jobb, mint a hagyományos UV eszközök hatásfoka.

### 3. HŐMÉRSÉKLET MÉRÉS

Ahhoz, hogy a legjobb eredményeket érjük el, szükség van olyan ideális körülményeket teremtő laboratóriumra, ahol nem befolyásolják a mérést külső behatások, mint pl. hőmérséklet-ingadozás, rezgés, változó fény viszonyok, így a mért és szimulált értékek jobb közelítéssel egyeznek. A LED hőmérsékleti görbe meghatározásához egy gyors reakcióidővel, és kis mérettel rendelkező szenzort érdemes választani, így a méréshez az OpSens által gyártott 4 csatornás TempSens jelkondicionáló, valamint az OTG-F száloptikás szenzor került felhasználásra. A jelkondicionáló egy csatornán 50 Hz-es mintavételi frekvenciára képes, az optikai szenzor érzékelője pedig 180  $\mu\text{m}$  átmérővel rendelkezik. A rendszer felbontása 0,05°C, a pontossága pedig 0,8°C (a szenzor teljes mérési tartományára vonatkoztatva).



3. ábra. Mérés közben készült fénykép

A 3. ábrán látható, hogy a kis méretek miatt a mérés pontosságához szükséges a precíz, mozgás és rezgésmentes környezet. A szenzor megfelelő pozíciójáról, szögéről, és a létrejövő kontaktról - a szenzor és a vizsgált felület között - csak mikroszkóp használatával együtt győződhetünk meg, minden mérési ponton.

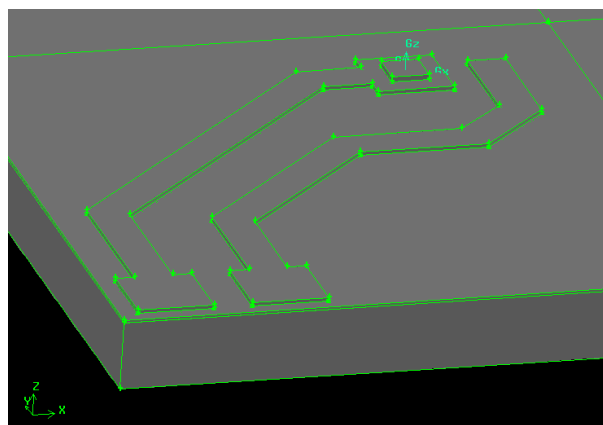
2. táblázat. Mérési pontok

Mérési pont	Távolság az 1. mérési ponttól [mm]
2. - 3.	5
4. - 7.	10
8. - 9.	15
10. - 11.	20

Minden mérési pont (2. táblázat) szimmetrikusan helyezkedik el és az 1. mérési ponttól, azaz a LED közepétől értendő. Egy mérési ponton addig tart a mérés, amíg a hőmérséklet nem konvergál egy értékhez.

### 4. NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ

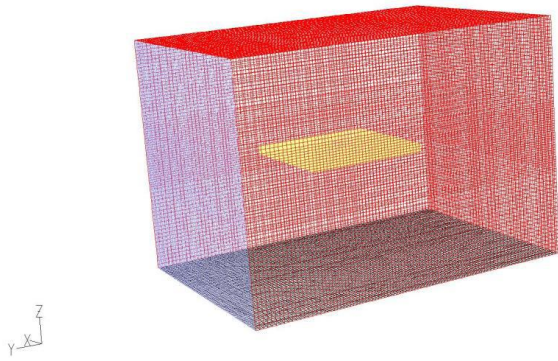
A modul méreteit mikroszkóp, és a hozzá tartozó szoftver segítségével határoztuk meg. A háromdimenziós geometria és a háló Gambit program segítségével készült el.



4. ábra. „Solid” rétegek felépítése Gambit programban

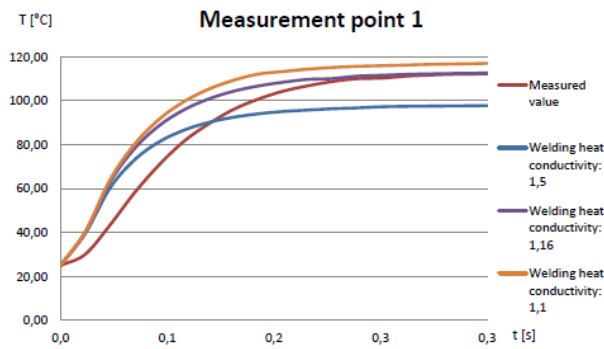
A 4. ábrán látható a modul és a LED. A réz és LED között helyezkedő hegesztés paramétereit nem ismerjük, ezért „wall” típusként definiáltuk, amelynek a szimulációban különböző tulajdonságokat tudunk beállítani (vastagság, hővezetési tényező). Mivel a numerikus megoldás véges térfogatok elvének alkalmazásán alapszik, így a szimuláció futtatásához szükséges a teljes számítási tartomány véges számú térfogatra való felosztása. A hálót a határrétegen megfelelő méretűre kell sűríteni, és az „y+” szabály betartása mellett kialakítani. A számítási tartomány 3 145 174 cellából áll. Az 5. ábrán látható a FLUENT-be beolvasott számítási tartomány. A kék felület „massflow inlet” a piros felületek pedig a „pressure outlet” peremfeltételt kapták. A szimulációk során különböző szélességeket is vizsgáltunk, vala-

mint hűtőventillátor nélküli esetet is, ahogyan a mérések során is.



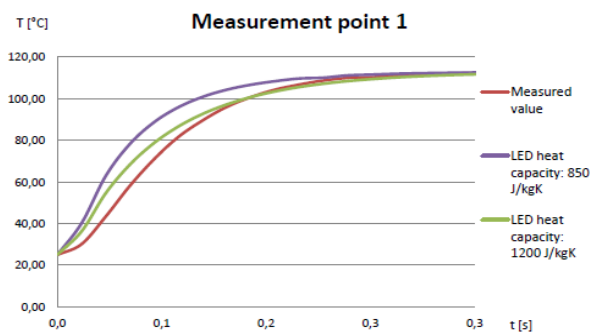
5. ábra. Szélcsatorna és a modul FLUENT-ben

A szimuláció során átlag 115 mW-os kimenő fénytjeljesítményhez tartozó 1050,2 mW-os veszteséggel (azaz kimenő hőteljesítmény) számoltunk, így 9,87%-os hatásfokot feltételezünk. Mivel nem ismert a hegesztés vastagsága, és hővezetési tényezője, így 0,1 mm-es vastagságot feltételezve, keressük a hővezetési tényezőt.



6. ábra. LED hőmérséklete a hegesztés különböző hővezetési tényezője mellett

A 6. ábrán jól látható, ha a hegesztés hővezetési tényezője rossz (sárga vonal), akkor a LED hőmérséklete magasabb, ha pedig túl jó (kék vonal) a hegesztés hővezetési tényezője, akkor a LED hőmérséklete sokkal alacsonyabb értéket mutat, mint a mért érték (piros vonal). A hőmérséklet felfutásának görbáját, pedig a LED hőkapacitása határozza meg leginkább.

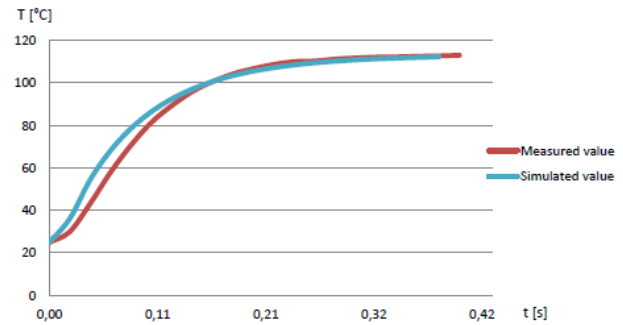


7. ábra. Különböző hőkapacitási értékek a LED-ben

A 7. ábra jól mutatja, hogy ez a rövid idejű felfutás - ami 0,3 sec alatt végbemegy - befolyásoló tényezője leginkább a LED hőkapacitása. A LED nagy része zafír, melynek hőkapacitása jelentősen változik a hőmérséklet növekedésével. A programban ezt a változást nem, de konstans értéket tudunk beállítani.

## 7. EREDMÉNYEK

A 8. ábrán látható a mért és szimulált értékek összehasonlítása ventilátor használata nélkül, az első mérési ponton, az első fél másodpercben.

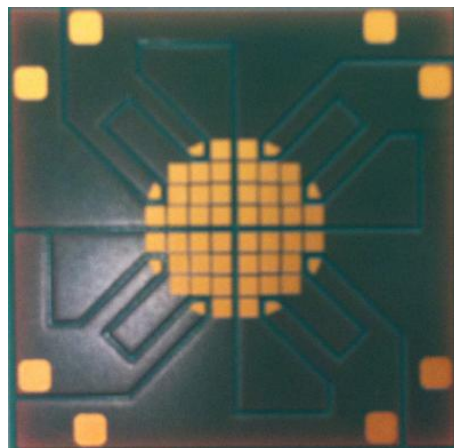


8. ábra. Mért (piros) és szimulált (kék) értékek

Jól látható, hogy az eltérések csak időben jelentkeznek, ami 0,01 - 0,02 másodperces különbségeket jelent, ami a szimulációs szoftver elhanyagolásából, és a mérési hibából összeadandóan jött létre, így ez a különbség elhanyagolhatóan kevés. A többi mérési pontokon jól megfigyelhető, - mérésben és szimulációban is - hogy az azonos körön lévő pontok hőmérséklete, és felfutása megegyezik. További mérések, valamint stacioner, és instacioner futtatások eredménye, különböző szélsőségek mellett, minden mérési ponton megtalálható az [1]-ben.

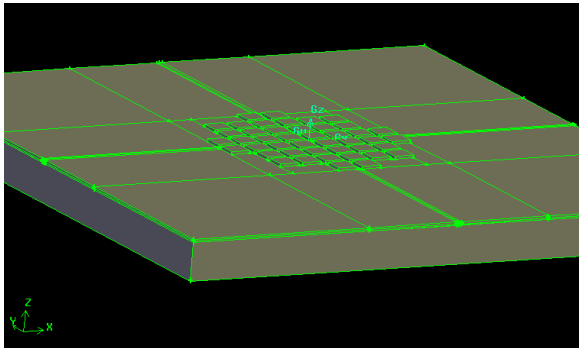
## 8. 44 UV LED-ET TARTALMAZÓ MODUL

Az előző mérési és futtatási eredményekre támaszkodva már ismerjük a modult, a hegesztés és a LED hőtechnikai paramétereit, így ezeket az információkat felhasználva szimulálhatunk egy bonyolultabb eszközt is, amely már 44 UV LED-et tartalmaz.



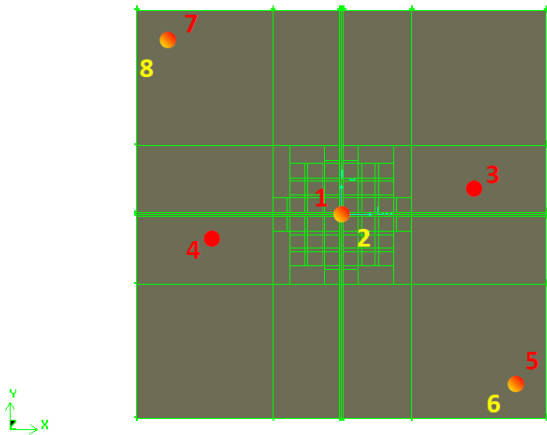
9. ábra. 44 LED-es modul

A 9. ábrán látható a 44 LED-es modul kialakítása. A panel felépítése megegyezik a korábbiakban bemutatott modulal, csak itt a részfelület nagyobb.



10. ábra. 44 LED-es modul rétegei

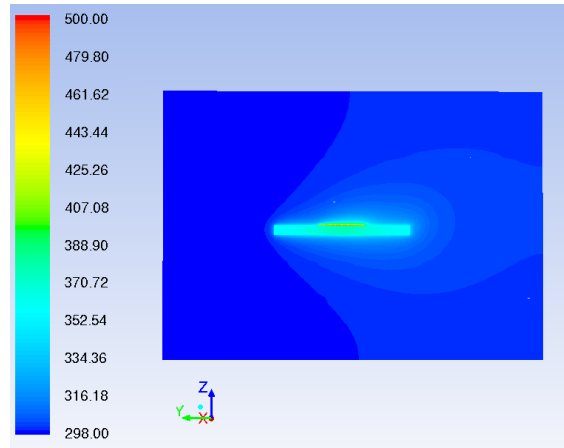
A 10. ábrán látható a Gambit programban létrehozott geometria rétegei (Solid). A hálózás egyszerűsítése miatt - ezzel futtatási időt spórolunk meg, és csökkentjük a numerikus hiba valószínűségét – elhanyagoltuk a részfelületben lévő bemarásokat, amelyek a megfelelő villamos kapcsolat létrehozása miatt készültek. A teljes számítási tartomány 5 437 889 cellából áll. Felhasználva az előző futtatás eredményeit, ugyanazokat a paramétereket definiáltuk, ugyanolyan LED veszteség mellett. A hálózás is ugyanazon elv szerint készült, betartva a háttérre vonatkozó szabályokat. A modulnak 51,3 W-os bemenő villamos teljesítmény mellett 46,2 W-os hőteljesítményt kell elvezetnie (a panel méret megegyezik).



11. ábra. 44 LED-es mérési pontok

A 11. ábrán látható, hogy a szimulációban meghatároztunk 8 mérési pontot. A Pirossal jelölt körök és számok a panel felső oldalán, a sárga pedig az alsó oldalán értendők. A szobahőmérsékletű levegő y irányból érkezik. Itt is megfigyelhető, hogy az azonos körön lévő pontok közel azonos hőmérsékletűek. A szimuláció során az első 10 másodpercben vizsgálva maximum 1°C különbség jelenik meg a belépőhöz tartozó mérési pont és a panel közepén lévő mérési ponthoz képest (azonos oldalon). A

hő terjedése megfigyelhető a szimulációban; bentől kifelé, és fentről lefelé.



12. ábra. 44 LED-es modul hőmérsékleti metszeti képe 3 m/s szélességgel 9secnél (FLUENT) [K]

A 11. ábra jól mutatja a nagy hőmérséklet kialakulását. Az ábrát nézve baloldról jobbra halad a szobahőmérsékletű levegő, így a torlópont körüli leválás is megfigyelhető. A szimuláció egyértelműen tükrözi, hogy aktív ventilátoros (3 m/s) hűtéssel nem szabad bekapcsolni, mert 1-2 másodperc alatt elérik a LED-ek a 130°C-os hőmérsékletet, ami már kifejezetten káros az élettartamra, a lencsére, és a hatásfok is jelentősen romlik. 9 másodpercnél a LED-ek átlaghőmérséklete közel 200°C-ot is elérték. További feladat közé tartozhat későbbiekben, nagyobb szélességgel való vizsgálat, illetve ilyen nagy teljesítményű rendszereknél vízhűtéses technológia alkalmazása.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett mérések és szimulációk összehasonlításával számos anyagjellemzőre és paraméterre fény derült, mely további szimulációkat tesz lehetővé, ezzel hozzájárulva a nagyteljesítményű berendezések hűtőrendszeireinek jobb tervezéséhez és fejlesztéséhez, melynek során a hangsúly a mérésről a szimulációra tolódik, ezáltal jelentős időbeli és anyagi megtakarításokat eredményezve.

## 8. 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.

## 9. 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-LEDmodulban kilakulóhőátviteli folyamatCFD szimulációja, MSc diplomamunka, Aschaffenburg & Miskolc, 2012